

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

IMPLÉMENTATION D'UN SYSTÈME TUTORIEL INTELLIGENT DE
TYPE JEU SÉRIEUX POUR L'APPRENTISSAGE DES PRATIQUES
SÉCURITAIRES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN INFORMATIQUE

PAR
JOEL ARTHUR KAROL DJEUMO

MARS 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de mon projet de maîtrise et à l'élaboration de ce mémoire.

J'exprime ma reconnaissance et ma gratitude à l'endroit de Monsieur Roger Nkambou pour la direction de mon travail. Je le remercie pour sa confiance, son soutien, ses encouragements, sa disponibilité et son écoute. C'est grâce à son implication et ses judicieux conseils que ce mémoire a pu être complété.

Merci à Monsieur Petko Valtchev, directeur du laboratoire GDAC, qui a toujours su répondre aux besoins visant à créer un cadre favorable au bon déroulement de mon projet de maîtrise.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Marcus Morin et Jérémy Blain du Service de la prévention et de la sécurité de l'UQAM, pour leur disponibilité et leur aide inestimable.

Je remercie mes amis et mes collègues du laboratoire GDAC : Ange, pour sa grande contribution dans ce projet, Harold, Patrick, Nancy, Pamela, Rahma et Amani pour leur soutien.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à mon frère aîné, Alain-Thierry, mes parents, Fidèle et Monique, mes autres frères et sœurs, Willy, Nellie, Valerie, Arlette et Elvire pour leurs encouragements et leur soutien indéfectible tout au long de la réalisation de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	xiii
RÉSUMÉ	xv
INTRODUCTION	1
0.1 Contexte et problématique	2
0.2 Hyphotèse de recherche	6
0.3 Objectifs	7
0.4 Méthodologie	8
0.4.1 Conception	8
0.4.2 Implémentation	9
0.5 Plan du mémoire	10
CHAPITRE I	
LES JEUX SÉRIEUX	11
1.1 La notion de jeu sérieux	11
1.1.1 Origine et définition	11
1.1.2 Caractéristiques des jeux	13
1.1.3 Avantages des jeux sérieux	16
1.1.4 L'apprentissage dans les jeux sérieux	17
1.1.5 Domaines d'application	19
1.2 Classification des jeux sérieux	20
1.2.1 L'aspect tactique (<i>Gameplay</i>)	20
1.2.2 L'utilité (<i>Purpose</i>)	21
1.2.3 La portée (<i>Scope</i>)	21

1.3	Jeux sérieux et éducation	23
1.3.1	Concepts reliés aux jeux sérieux	23
1.3.2	Impact des jeux sérieux sur le joueur	25
1.3.3	Pourquoi utiliser les jeux sérieux pour l'apprentissage?	27
1.3.4	Comment concevoir un jeu éducatif de qualité?	29
1.4	Plateformes et périphériques d'entrée pour les jeux sérieux	33
1.5	Le futur des jeux sérieux	34
CHAPITRE II		
	LES SYSTÈMES TUTORIELS INTELLIGENTS	37
2.1	La notion de système tutoriel intelligent	37
2.1.1	Historique et définition	38
2.1.2	Les composants d'un STI	39
CHAPITRE III		
	ARCHITECTURE DU STI DE TYPE JEU SÉRIEUX PRAT'SÉCURITAIRES	
	47
3.1	Composantes	48
3.1.1	Modèle Apprenant	48
3.1.2	Modèle Tuteur	51
3.1.3	Modèle Expert	52
3.1.4	Interface utilisateur	54
3.2	Architecture fonctionnelle	54
3.2.1	Architecture interne	54
3.2.2	Cycle de fonctionnement de Prat'Sécuritaires	56
3.3	Éléments conceptuels	59
3.3.1	Modélisation du domaine	59
3.3.2	Modélisation de l'apprenant	61
3.3.3	Règles tutorielles	71
3.4	Méthodologie du projet	74

3.4.1	Gestion du projet	74
3.4.2	Acquisition des connaissances	77
CHAPITRE IV		
	IMPLÉMENTATION DE PRAT'SÉCURITAIRES	87
4.1	Choix techniques d'implémentation	87
4.1.1	SketchUp pour la modélisation de l'environnement de test . .	87
4.1.2	Unity3D pour l'interface (environnement de jeu 3D)	88
4.1.3	JESS pour les règles	89
4.2	Architecture fonctionnelle	90
4.3	Algorithmes et interactions	92
4.3.1	Algorithme de gestion du réseau bayésien	93
4.3.2	Interaction Apprenant-Environnement : Perspective Tierce Per- sonne	93
4.3.3	Interactions Apprenant-Tuteur	94
4.4	Résultats d'implémentation	95
4.4.1	Le Tuteur : Approche de <i>Coaching</i>	95
4.4.2	L'interface utilisateur	98
4.4.3	Hiérarchie modulaire	101
4.4.4	Interface générique	102
4.4.5	Difficultés rencontrées	103
CHAPITRE V		
	VERS UNE ÉVALUATION DE PRAT'SÉCURITAIRES	107
5.1	Évaluation des systèmes tutoriels intelligents	108
5.2	Évaluation des jeux sérieux	109
5.3	Approche d'évaluation de Prat'Sécuritaires	112
5.3.1	Évaluation du module expert	112
5.3.2	Évaluation du modèle pédagogique	113
5.3.3	Évaluation des composantes de communication	115

CONCLUSION	117
APPENDICE A	
CYCLE DE VIE D'UN <i>SPRINT</i> SCRUM	121
APPENDICE B	
MATRICE TECHNIQUE D'ÉLICITATION/DOMAIN PROBLÈME . .	123
APPENDICE C	
RÉSEAU BAYÉSIEN DE PRAT'SÉCURITAIRES	125
APPENDICE D	
EXEMPLES D'UTILISATION DE JESS DANS PRAT'SÉCURITAIRES	131
APPENDICE E	
EXEMPLE D'UTILISATION DES BIBLIOTHÈQUES JAYES ET JAVA DANS PRAT'SÉCURITAIRES	135
APPENDICE F	
QUELQUES CRITÈRES D'ÉVALUATION DES JEUX SÉRIEUX	137
APPENDICE G	
ÉVALUATION DES ATTRIBUTS DES JEUX SÉRIEUX	139
RÉFÉRENCES	141

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Représentation du modèle G/P/S.	22
1.2 Relations entre jeux sérieux et concepts éducatifs similaires. . . .	25
2.1 Architecture générale d'un STI.	39
2.2 Diagramme comparatif des méthodes de modélisation de l'expert.	41
2.3 Les variantes du modèle « <i>Overlay</i> ».	44
3.1 Modèle de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires.	49
3.2 Représentation des connaissances de l'apprenant (modèle <i>Overlay</i>).	50
3.3 Modèle tuteur dans Prat'Sécuritaires.	51
3.4 Le modèle expert dans Prat'Sécuritaires.	53
3.5 L'architecture interne de Prat'Sécuritaires.	55
3.6 Exemple de graphe de tâches dans Prat'Sécuritaires.	58
3.7 Exemple de réseau bayésien.	64
3.8 Exemple de réseau bayésien extrait du modèle de Prat'Sécuritaires.	65
3.9 Étapes de développement d'un SBC.	81
3.10 Phases d'acquisition des connaissances.	84
4.1 Architecture fonctionnelle de Prat'Sécuritaires.	91
4.2 La perspective tierce-personne dans Prat'Sécuritaires.	94
4.3 Le joueur sollicite l'aide du tuteur en début de partie.	96
4.4 Le joueur sollicite un indice de la part du tuteur.	96
4.5 Le tuteur félicite le joueur pour une bonne action.	97

4.6	Le tuteur fait une remarque importante sur le comportement du joueur et lui fait une suggestion.	98
4.7	Un des écrans d'accueil de Prat'Sécuritaires.	99
4.8	Choix d'une partie de jeu dans Prat'Sécuritaires.	99
4.9	Éléments de contrôle de Prat'Sécuritaires.	100
4.10	Organisation modulaire de Prat'Sécuritaires.	102
A.1	Cycle de vie d'un <i>Sprint</i> SCRUM	122
B.1	Matrice Technique d'élicitation/Domaine problème	124
C.1	Le réseau bayésien de Prat'Sécuritaires	127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Différence entre jeux de divertissement et jeux sérieux.	13
1.2 Les éléments des jeux vidéo qui créent l'engagement du joueur. . .	27
1.3 Les éléments des jeux vidéos qui contribuent à la motivation. . . .	28
1.4 Critères à remplir par un jeu pour être intégré à un logiciel éducatif.	30
3.1 Table d'abréviations pour l'exemple de problème.	66
3.2 Table de probabilités pour l'exemple de problème.	67
3.3 Quelques techniques d'entrevue.	85
C.1 Table d'abréviations.	126
C.2 Table de probabilités du réseau bayésien de Prat'Sécuritaires. . .	128
F.1 Quoi mesurer, comment et quand (Mayer <i>et al.</i> , 2014).	138
G.1 Les attributs des jeux sérieux et leur association avec le <i>Technology Acceptance Model</i> (TAM) (Yusoff <i>et al.</i> , 2010).	140

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

IDE Integrated Development Environment

JAR Java ARchive

API Interface de Programmation d'Applications

SBC Système à Base de Connaissances

SBR Système à Base de Règles

STI Système Tutoriel Intelligent

JESS Java Expert System Shell

DLL Dynamic Link Library

UML Unified Modeling language

GDAC Gestion, Diffusion et Acquisition des Connaissances

RÉSUMÉ

Assurer la sécurité des biens et des personnes a toujours été une véritable préoccupation au sein de nos sociétés. Elle englobe plusieurs aspects dont la prise en compte globale, dans le développement d'une solution à cette problématique, nécessiterait un système d'une grande complexité. Un investissement énorme est déjà fait au niveau de la formation et au niveau opérationnel pour faire face aux risques et menaces éventuelles (incendies, catastrophes naturelles, attaques chimiques ou biologiques, engins explosifs, etc.). De nombreux exercices en environnements simulés ou réels sont faits chaque année, aussi bien au sein des unités spécialisées (pompiers, armée, police, services de sécurité, etc.) que des populations, car le meilleur moyen de s'assurer de réagir de façon appropriée si l'on est amené à y faire face, est d'y être préparé.

Nous proposons ici une solution qui exploite les potentiels conjoints des systèmes tutoriels intelligents (STIs) et des jeux vidéo. Notre projet se situe dans le contexte d'un nouveau paradigme d'apprentissage en pleine expansion dans le domaine de l'intelligence artificielle pour l'éducation. Il consiste à implémenter un STI de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires qui puisse offrir un apprentissage personnalisé et s'adapter à différents environnements et types de scénarios de formation. Nous avons nommé Prat'Sécuritaires.

Ce document présente tout d'abord le contexte, la problématique et les objectifs du projet ainsi que nos hypothèses sur la valeur de notre outil. Ensuite, nous faisons une étude détaillée de l'évolution des STIs et des jeux sérieux, et poursuivons sur la présentation détaillée de l'architecture de Prat'Sécuritaires. Le document présente également notre démarche méthodologique, les choix techniques d'implémentation avec les raisons qui les ont motivés, et les ressources auxquelles nous avons eu recours pour nous assurer de la fiabilité, de l'efficacité et de la robustesse de notre solution.

Une approche d'évaluation de notre système est proposée dans la dernière partie, ainsi que nos travaux futurs visant à étendre son champ d'application.

Mots clés : systèmes tutoriels intelligents, acquisition de connaissances, systèmes adaptatifs, jeu sérieux, réseaux bayésiens, systèmes à base de connaissances.

INTRODUCTION

L'objectif de ce mémoire est de présenter mon projet de maîtrise ainsi que l'approche méthodologique mise en œuvre pour le réaliser. Notre travail a été conduit au sein du Laboratoire de recherche en Gestion, Diffusion et Acquisition des Connaissances (GDAC) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), et a consisté à concevoir un système tutoriel intelligent de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires, puis à en réaliser un prototype afin de valider notre hypothèse de recherche.

La conception du système présenté dans ce mémoire est limitée aux situations d'apprentissage individuel. Ici, l'apprenant interagit uniquement avec le système (pas d'interactions avec d'autres apprenants). Les interactions de l'apprenant avec l'environnement de jeu vidéo dans lequel il évolue se font à travers un ensemble d'actions observables par le système. L'apprenant bénéficie tout au long du processus d'apprentissage, de l'intervention d'un tuteur machine pour le guider dans l'acquisition des compétences qui lui permettront au terme de la formation, d'être capable d'appliquer convenablement les pratiques sécuritaires en situations d'urgence.

Les problèmes à résoudre sont sous formes de scénarios différents, présentés à l'apprenant par le système au cours d'une partie de jeu. Chacun des scénarios considérés dans notre prototype a été défini avec l'aide des experts en sécurité publique que nous consultons depuis le début de notre travail. Cette collaboration s'inscrit dans une démarche dont le but à long terme est d'implémenter un système offrant des scénarios d'apprentissage collectifs pour les situations d'urgences les

plus probables, avec un panel d'outils permettant d'observer et d'évaluer le processus d'apprentissage. Aussi, nous présentons dans la dernière partie de ce document, les perspectives qui orienteront nos travaux futurs.

0.1 Contexte et problématique

Le développement socio-économique, propulsé par les progrès technologiques, a vu se développer de nouvelles formes de menaces visant les biens et les personnes ainsi qu'une augmentation de l'impact que pourraient avoir de telles situations si elles se produisaient (incendies, inondations, déversement de matières dangereuses, attaques terroristes, individus armés, etc.). Face à ces nouvelles formes de menaces, les gouvernements investissent des moyens énormes pour développer des solutions visant à protéger les populations, solutions qui malheureusement ne se montrent pas toujours efficaces dans leurs applications. Nous pouvons à titre d'exemple citer le système d'alerte et d'information des populations (SAIP), dont la réalisation a coûté près de 80 million d'euros au gouvernement français et dont le déploiement lors des attentats de Nice (France) le 14 juillet 2016 a été un échec (Theguardian.com, 2016). L'application «*Alerte Attentat*» du système SAIP sensée prévenir les populations de la menace détectée et fournir des consignes pour les mettre à l'abris ne s'est déclenchée que 2 heures et 30 minutes après la fin du massacre qui a fait près d'une centaine de morts et des dizaines de blessés. Alors, nous nous sommes logiquement posés la question suivante : quel aurait été l'impact de l'application si elle avait parfaitement fonctionné ?

Former de façon efficace les usagers en pratiquant les méthodes usuelles d'exercices de simulation coûterait très cher aux gouvernements, essentiellement s'il faudrait prendre en compte tous les scénarios et types de menaces possibles en se basant sur l'environnement (bâtiments, espaces ou transports publics, etc.), la mesure de l'impact (dégâts humains et matériels) ou encore les possibilités de

déploiement des secours (accès au site affecté, évacuation des victimes, information et orientation des populations, etc.). D'autre part, les exercices annuels de simulation actuellement effectués et suivant principalement les scénarios les plus probants selon le contexte, sont loin d'être suffisants. Pour compenser, les solutions proposées sont essentiellement des systèmes d'alerte. Nous pouvons citer le système «*McGill | Attention !*» servant à communiquer des alertes directement aux membres de la communauté de l'université McGill (Montréal, Canada) qui s'y sont inscrits via une application mobile ; Il est disponible 24/7. D'autres exemples sont le logiciel «*Alertus*», utilisé dans les universités McGill et Concordia (Montréal, Canada), permettant de recevoir des alertes sur son ordinateur, et le système SAIP cité plus haut. D'autres moyens utilisés sont les capsules vidéos et les pamphlets servant à diffuser l'information à des masses sans vraiment tenir compte des spécificités liées aux types d'utilisateurs et à leur capacité à réagir de façon rationnelle en situation réelle d'urgence.

Une solution, pour être efficace, devrait pouvoir s'adapter à l'utilisateur en fournissant des outils de diagnostic visant à mesurer chez l'individu, des paramètres entrant en ligne de compte dans son comportement en situation d'urgence (cognition spatiale, profil psychologique, profil émotionnel, etc.), afin d'aider à augmenter les chances de survie en situation réelle pour chaque profil d'individu. En effet, chaque individu, en fonction de ses aptitudes et capacités, a ses propres stratégies et rythme d'apprentissage. Nous préconisons l'usage d'un système tutoriel intelligent (STI) pour répondre à ce besoin. Les STIs sont des solutions idéales dans ces conditions, car ils sont dotés d'environnements permettant d'offrir un apprentissage individualisé, adaptatif et de qualité (Nkambou *et al.*, 2010).

De nos jours, l'apprentissage des pratiques sécuritaires se fait essentiellement par deux moyens : l'impression des supports papier et les exercices annuels de simulation (ex., exercice d'évacuation d'un immeuble). Les activités de simulation

constituent un bon moyen d'acquérir ou d'enseigner à développer des compétences de base à travers une réplique du contexte et des aspects du monde réel (Aldrich, 2004; Aldrich, 2005; Alessi et Trollip, 1991; Alessi et Trollip, 2001; Gredler, 2004; Herz et Merz, 1998). Cependant, les activités de simulation sont toujours spécifiques à un contexte bien précis (Charsky, 2010), dans lequel l'apprenant peut endosser un rôle de professionnel (enseignant-e, docteur, militaire, etc.) pour une simulation expérimentale, ou manipuler sans risque des matières dangereuses (acide hydrochloridrique, cyanure d'hydrogène, etc.) pour une simulation symbolique. Et qui de plus n'intègrent pas les notions telles que l'engagement, la motivation ou la compétition. Ce qui nous a conduit d'autre part à nous intéresser aux jeux sérieux, offrant la possibilité d'intégrer des règles, des défis, des choix et de la fantaisie en plus des caractéristiques énoncées plus haut, avec de vastes possibilités de méthodes d'enseignement. La «sériosité» du jeu fait référence à un contenu qui pourrait très bien être utilisé comme matériel d'enseignement dans un cadre éducatif (Djaouti *et al.*, 2011; Yusoff *et al.*, 2010).

Pour répondre à ces problématiques, nous avons proposé et conçu un STI de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Il s'agit d'un système qui combinera les aspects à la fois de STI et de jeu sérieux. Notre outil aura la particularité d'offrir un enseignement individualisé et adaptatif dans un environnement de jeu vidéo.

Les jeux ont été reconnus comme pouvant inciter un engagement actif du joueur, mais aussi traiter de la multitude de compétences requises à l'ère de l'information : l'autorégulation, les compétences en documentation, la coopération en réseau, les stratégies de résolution de problèmes et l'esprit critique (Westera *et al.*, 2008). Un autre point important à souligner est le degré d'adoption des jeux au sein de la nouvelle génération d'apprenants, qui sont nés et ont évolué avec les nouvelles technologies de communication (Prensky, 2006). En intégrant

les fonctionnalités adéquate à notre STI de type jeu sérieux nous pouvons exploiter cet intérêt de la jeune génération en renforçant le pouvoir du jeu à stimuler la motivation du joueur et à atteindre les objectifs de l'apprentissage (Garris *et al.*, 2002; Shute, 2011). Dans la même lancée, nous apporterons notre contribution à l'évolution de la recherche dans le domaine des jeux pour l'éducation et la formation, car l'utilisation du jeu dans l'éducation, qui demeure très limitée, n'a pas suivi la croissance rapide de l'industrie du jeu au cours des dernières décennies (Westera *et al.*, 2008).

Les points mentionnés plus haut soulèvent les questions suivantes auxquelles notre travail a consisté à un effort de réponse :

1. Quels sont les éléments de connaissance qui entrent en ligne de compte dans la mise en œuvre des pratiques sécuritaires ?
2. Peut-on les éliciter et les représenter de façon formelle dans un système à base de connaissances ?
3. Comment mettre en œuvre les stratégies des experts du domaine dans un tel système ?
4. Comment mettre à contribution l'engagement suscité par le jeu vidéo dans la formation et l'éducation ?
5. Est-il possible d'intégrer un moteur de raisonnement à un jeu vidéo afin de pouvoir y bénéficier des propriétés des STIs ?
6. Si oui, quelles seraient les caractéristiques d'un tel système afin qu'il soit adaptable à tous types de situation d'urgence ?

Au moment de l'écriture de ce mémoire, il n'existe, au meilleur de notre connaissance, aucun outil comparable offrant une solution aux problématiques conjointes énoncées plus haut. Notre STI de type jeu sérieux se positionne par conséquent comme une première dans son domaine et explore une nouvelle ère

pour les STIs.

0.2 Hyphotèse de recherche

La valeur scientifique de l'outil que nous développons dans ce projet repose sur un certain nombre de points à prouver, et qui sont les suivants :

- Une théorie de la construction du savoir-faire des experts du domaine de la prévention et de la sécurité, qui très souvent relève des connaissances tacites, permettrait de les opérationnaliser pour les systèmes à base de connaissances dans ce domaine (c'est une tâche reconnue comme étant difficile, d'autant plus si le domaine concerné n'est pas assez documenté) (Richards, 2002).
- Les mécanismes cognitifs à l'origine de prise de décisions adéquates en situation d'urgence dans le monde réel ne satisfont pas nécessairement aux normes standards d'inférence rationnelle (Gigerenzer et Goldstein, 1996).
- Comprendre les comportements humains en situations d'urgence est essentielle à l'élaboration de solutions efficaces en matière de sécurité et de prévention (Pan, 2006).
- Effectuer un diagnostic cognitif de l'apprenant permettrait d'établir son profil afin de cibler ses points faibles et l'aider à les corriger en ajustant les activités à son rythme d'apprentissage.
- Un système offrant l'immersion, l'engagement et la compétition que l'on retrouve dans les jeux vidéos (de Freitas et Liarokapis, 2011), et présentant les caractéristiques d'un système tutoriel intelligent, permettrait de stimuler la motivation du joueur et aiderait de manière significative à atteindre les objectifs de l'apprentissage tout en assurant un enseignement individualisé, adaptatif et de qualité (Nkambou *et al.*, 2010).

- Trouver un moyen technique d'évaluer l'acquisition des compétences d'un apprenant à la suite d'une formation classique (exercices de simulation) aux pratiques sécuritaires en situations d'urgence aiderait de manière significative à la formation dans le domaine. Par ailleurs, selon les experts que nous avons rencontrés, il n'existe à ce jour aucun système permettant de faire une telle évaluation.

Notre STI de type jeu sérieux se positionne donc comme un outil d'évaluation pratique dans la formation et l'éducation à la prévention et à la sécurité.

0.3 Objectifs

L'objectif de notre travail de maîtrise est de développer un prototype de système tutoriel intelligent de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Il se décompose comme suit :

- Concevoir une architecture du système basé sur l'architecture classique des STIs.
- Éliciter des connaissances brutes exprimées par les experts (identifier et faire ressortir les concepts importants du domaine et les relations significatives entre ces concepts (Paquette *et al.*, 1991)).
- Construire un modèle opérationnel des concepts et des relations identifiés à l'étape précédente (formalisation des connaissances (Paquette *et al.*, 1991)).
- Construire un modèle de représentation des connaissances et des performances de l'apprenant comprenant des outils de diagnostic permettant d'identifier les erreurs et les idées fausses et offrant des mécanismes pour aider à les corriger.

- Établir des règles tutorielles basées sur les stratégies de tutorat dont l'efficacité a été prouvée (Narciss, 2008) et dont l'application est très répandue dans les environnements d'apprentissage ;
- Implémenter et évaluer un premier prototype de Prat'Sécuritaires stable et offrant les fonctionnalités de base décrites dans ce document.

Le but à long terme est de créer un système générique dans lequel il sera possible d'importer différents types d'environnements modélisés en 3D et y définir des scénarios d'apprentissage pour la formation de l'apprenant. Le système intégrera tous les scénarios de situations d'urgence (incendie, inondation, tremblement de terre, individu armé, déversement de substances dangereuses, etc.). Sa configuration devra être simple, intuitive et ne devra nécessiter aucune compétence en programmation informatique.

0.4 Méthodologie

Les approches mises en œuvre pour la conception et le développement de Prat'Sécuritaires sont tirées à la fois des méthodes de l'ingénierie des connaissances et du génie logiciel. Nous avons mis un grand soin dans l'étude et le choix des méthodes utilisées, en fonction du domaine et des objectifs de notre projet, pour garantir en résultat un système robuste et valide sur les plans technique et scientifique.

0.4.1 Conception

Notre travail a nécessité la collaborations des experts dans le domaine de la sécurité publique. Nous avons mis en œuvre une méthode de l'ingénierie des connaissances basée sur les techniques d'entrevue (Paquette *et al.*, 1991) pour

éliciter et encoder les connaissances brutes exprimées par les experts, puis procéder au choix de leur représentation dans notre système. Cette méthode est décrite en détail plus loin dans la section 3.4.2.3. Le processus d'ingénierie logicielle a nécessité une phase préalable de choix des outils de développement des jeux vidéos en fonction de leur accessibilité (coût - gratuit de préférence - et prise en main rapide). Il a fallu ensuite trouver le moyen d'intégrer notre moteur de raisonnement dans le jeu vidéo afin de pouvoir bénéficier des outils d'inférence à des fins d'évaluation et d'adaptabilité. Ce qui nous a permis de concevoir l'architecture fonctionnelle de Prat'Sécuritaires.

0.4.2 Implémentation

Le développement de notre STI de type jeu sérieux s'est faite suivant l'approche itérative de la méthodologie Agile¹. Les méthodes Agile ont cet avantage qu'elles permettent d'intégrer rapidement les changements, ce qui en fait un choix adéquat pour notre projet de recherche dont les spécifications sont fréquemment amenées à changer. Elles emploient des principes dont la teneur est exprimée par les points suivants (Coram et Bohner, 2005) : elles privilégient 1) les individus et les interactions par rapport aux processus, 2) le code effectif par rapport à la documentation, 3) une collaboration personnalisée par rapport à la négociation, 4) la réactivité au changement par rapport au suivi d'un planning.

Grâce à une approche itérative inspirée des méthodes agile, nous avons une version fonctionnelle et stable du système à chaque étape du développement. Chaque des versions passe ensuite à travers un processus de validation auprès des experts, puis nous y effectuons des ajustements avant de passer à la phase suivante.

1. <http://www.agilemanifesto.org>

0.5 Plan du mémoire

Ce mémoire de recherche contient sept chapitres au total. Ces chapitres peuvent être regroupés en quatre grandes parties :

La première partie contient uniquement le chapitre 0, l'introduction, dont le présent plan du mémoire constitue le dernier point.

La deuxième partie, regroupant les chapitres 1 et 2, présente d'une part les jeux sérieux : leurs définition et caractéristiques, leur classification et la manière dont ils sont utilisés dans l'éducation de nos jours. D'autre part, cette partie présente la notion de système tutoriel intelligent : sa définition, ses composants ainsi que la manière dont ces derniers interagissent dans le système, l'état de l'art des systèmes tutoriels intelligents dans l'ensemble avec un focus sur les STIs de type jeu sérieux.

La troisième partie regroupe les chapitres 3, 4 et 5. Elle présente l'architecture détaillée de notre STI de type jeu sérieux. On y retrouve une description des composantes, de l'architecture fonctionnelle, des éléments conceptuels et de la méthodologie qui a orienté le projet. Cette partie présente également les choix techniques d'implémentation de notre système ainsi que les raisons qui les ont motivé. Pour terminer, elle présente notre approche d'évaluation de Prat'Sécuritaires et les perspectives de nos travaux futurs sur ce projet.

La quatrième et dernière partie contient uniquement le chapitre 6. Elle présente essentiellement nos conclusions et les perspectives de nos travaux futurs.

CHAPITRE I

LES JEUX SÉRIEUX

Notre projet porte sur la mise en œuvre d'un STI de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Aussi nous jugeons important de commencer par une étude détaillée sur les jeux sérieux afin de montrer pourquoi nous avons fait ce choix pour l'implémentation de notre système et sommes persuadés de l'impact qu'il auront pour prouver notre hypothèse de recherche. Ce chapitre donne une description des jeux sérieux et présente les concepts qui y sont associés. Il donne leur classification, un bref historique de l'évolution des jeux sérieux et décrit en quoi ils ont un impact sur l'éducation. Nous faisons également un tour d'horizon du domaine de recherche et en présentons le potentiel et les perspectives.

1.1 La notion de jeu sérieux

1.1.1 Origine et définition

La «gamification» de l'apprentissage

(Deterding *et al.*, 2011) définit la «gamification» comme étant «l'utilisation des éléments conceptuels du jeu dans des contextes ne se rapportant pas au jeu». Le terme «gamification» a été introduit au début des années 2000, bien

qu'il n'ait été propulsé qu'en 2010 par les acteurs de l'industrie du jeu vidéo et les conférences scientifiques (Groh, 2012). Il s'en est suivi le développement de nombreuses applications «gamifiées» dans différents domaines (productivité, finance, santé, éducation, etc.) (Groh, 2012). La «gamification» s'applique aussi bien aux applications qu'aux sites web (couche service logiciel), et elle a été largement adoptée pour une utilisation commerciale du fait de l'engouement croissant pour les jeux d'une part, et d'autre part pour augmenter l'engagement des utilisateurs à utiliser les produits tout en offrant de nouvelles possibilités et des sources d'informations pour l'interaction humain-machine (Groh, 2012).

Les jeux sérieux

La notion de «jeu sérieux», bien qu'ayant été l'objet de nombreuses études scientifiques, ne trouve pas de définition unifiée dans la littérature. En effet on en trouve presque autant de définition que d'études sur le sujet. Le terme «jeux sérieux» désigne très souvent des jeux utilisés pour l'apprentissage, la simulation informatique ou l'éducation (Zyda, 2005). Un jeu sérieux peut être considéré comme étant le résultat de l'application des technologies des jeux et de la simulation informatique à un domaine qui ne porte pas sur le divertissement, ou de manière formelle comme une activité mentale pratiquée avec un ordinateur et en suivant des règles établies, qui fournit un aspect ludique à l'apprentissage dans des domaines variés (Susi *et al.*, 2007).

La différence fondamentale entre les jeux pour le divertissement et les jeux sérieux est que les derniers utilisent la pédagogie pour intégrer l'enseignement dans l'expérience de jeu. La table 1.1, tirée de (Susi *et al.*, 2007), présente la différence entre les jeux sérieux et les jeux de divertissement.

C'est la Serious Games Initiative (www.seriousgames.org) qui en 2002 a

Tableau 1.1: Différence entre jeux de divertissement et jeux sérieux.

	Jeux sérieux	Jeux de divertissement
Tâche vs. expérience enrichie	Résolution de problème mise en avant	Expérience riche mise en avant
Concentration	Élément important de l'apprentissage	Pour avoir du plaisir
Simulation	Hypothèses nécessaires à des simulations exploitables	Processus de simulation simplifié
Communication	Doit refléter la communication naturelle (non parfaite)	Communication souvent parfaite

vulgarisé la notion de «jeu sérieux», devenu très populaire de nos jours, et qui en fournit la description suivante sur son site web (Susi *et al.*, 2007) :

La Serious Games Initiative se concentre sur l'utilisation des jeux pour explorer des problèmes de gestion et de leadership auxquels le secteur public fait face. Une partie de sa charte globale est d'aider à forger des liens productifs entre l'industrie des jeux électroniques et les projets impliquant l'utilisation des jeux dans l'éducation, la formation, la santé, et la politique publique.

1.1.2 Caractéristiques des jeux

Notre manière d'appréhender les jeux vidéo dépend de la culture que nous en avons. Elle diffère dépendamment du fait que nous avons grandi en y jouant ou pas, ou selon le degré d'emprise qu'a le jeu dans notre vie. Ce qui est certain par ailleurs, que l'on soit un joueur expérimenté ou non, c'est la motivation et l'excitation provoquée chez le joueur qui comptent. Ces dernières sont attribuées

par (Charsky, 2010) aux caractéristiques même du jeu en général, présentées comme étant intrinsèquement interdépendantes lorsqu'elles sont mises ensemble. et définies comme suit :

La compétition et le but

La compétition et le but ont une influence importante sur la motivation. Selon le type de jeu, ils peuvent être confondus ou le but peut être basé sur la compétition. Un exemple dans le deuxième cas est le jeu populaire Pac-Man dans lequel le but est de faire un score maximal en gobant le maximum de points avant de se faire dévorer par les fantômes. Le but des jeux éducatifs correspond très souvent à l'objectif de l'apprentissage, et on peut y ajouter de la compétition pour motiver le joueur à faire toutes les activités et rendre le jeu plus amusant (Alessi et Trollip, 1991; Trollip et Alessi, 2001).

Les jeux se sont beaucoup développés, et le but a évolué au delà de la simple victoire ou défaite. Il ne s'agit plus simplement de gagner ou de perdre mais d'évoluer à travers des schémas de jeu complexes offrant une plus grande latitude et plus de contrôle au joueur sur les buts à atteindre et la manière de les atteindre ; Grand Theft Auto¹ en est un bon exemple. Certains jeux peuvent nécessiter plusieurs mois pour atteindre les objectifs, et dans d'autres jeux disponibles en ligne il est possible de se fixer des nouveaux objectifs à l'infini ! Cependant en ce qui concerne les jeux éducatifs, le fait de rallonger la durée des activités ne garanti pas forcément le meilleur résultat possible.

1. www.rockstargames.com/grandtheftauto/

Le choix

Le choix dans les jeux désigne le nombre d'options et de décisions auxquelles le joueur a accès avant et pendant la partie (Peck et Hannafin, 1988; Malone et Lepper, 1987). Selon (Charsky, 2010), il existe trois types de choix :

- Les choix expressifs. Ils sont faits par le joueur au cours de la partie et peuvent augmenter sa motivation, même s'ils ont un effet négligeable sur ses performances.
- Les choix stratégiques. Ce sont les choix qui peuvent influencer le déroulement de la partie. Ils permettent au joueur de changer les attributs du jeu comme le niveau de difficulté ou les étapes à venir.
- Les choix tactiques. Ils définissent l'habileté du joueur à décider de la manière dont il joue la partie. Il peut choisir par exemple de faire une action donnée au lieu d'une autre, de consulter l'aide avant de progresser ou pas.

Les défis

Les défis désignent les tâches et les activités du jeu (Malone et Lepper, 1987). Dans les jeux éducatifs ou les jeux sérieux, il s'agit du contenu éducatif. Le joueur acquiert des nouvelles compétences en complétant les défis, ce qui l'oriente vers des défis plus importants lui permettant d'acquérir encore plus de compétences (Gee, 2003).

La fantaisie

La fantaisie est utilisée dans le jeu pour créer l'excitation chez le joueur. Elle peut être classifiée en deux catégories :

- La fantaisie exogène qui est utilisée en tant que renfort pour un comporte-

ment correct ou une réponse à un défi.

- La fantaisie endogène dans laquelle il y a peu ou pas de déconnexion entre le jeu et l'apprentissage.

Les caractéristiques présentées dans cette sections ne sont pas uniquement celles des jeux sérieux, mais des jeux informatiques en général.

1.1.3 Avantages des jeux sérieux

Les avis sont partagés en ce qui concerne les avantages et les inconvénients des jeux en général et des jeux sérieux en particulier. Bien que les jeux soient en général reconnus pour développer certaines aptitudes chez le joueur, il n'y a pas assez de résultats d'études menées à ce jour pour établir de manière formelle les avantages et les inconvénients des jeux. Selon (Corti, 2006; Squire et Jenkins, 2003), ce que nous savons est le fait que le joueur peut, grâce aux jeux et des systèmes basés sur des environnements virtuels, vivre des expériences pas toujours accessibles (en termes de coût, de sécurité et de temps) dans le monde réel.

Certaines des études menées sur les effets du jeu sur le joueur ont mis en évidence l'impact qu'ils peuvent avoir sur le développement de compétences variées. Comme exemple nous pouvons citer l'esprit d'analyse, la cognition spatiale, les facultés d'apprentissage autonome ou guidé, les capacités psychomotrices, l'attention visuelle sélective, etc. (Susi *et al.*, 2007). La cognition spatiale est l'une des aptitudes dont le joueur a besoin pour pouvoir performer dans des situations de sécurité en ce sens qu'elle est essentielle à la survie en situation réelle d'urgence. Ce point sera développé plus loin dans ce mémoire.

D'autres potentiels avantages des jeux ont été rapportés par (Ellis *et al.*, 2006; Mitchell et Savill-Smith, 2004). Il s'agit du fait d'améliorer chez le joueur l'autonomie, la résolution des problèmes, la prise de décisions, la mémoire à court

et à long terme, la collaboration ou encore la négociation.

Pour ce qui concerne les potentiels effets néfastes des jeux, les études de (Mitchell et Savill-Smith, 2004) ont rapporté entre autres, le mal de tête, la fatigue, des microtraumatismes à répétition, la dépression, la marginalisation sociale, des comportements répulsifs, la virtualisation des relations humaines, et pour les jeux violents, des comportement agressifs et le développement négatif de la personnalité. Le débat persiste autour des effets négatifs de certains types de jeu, compte tenu du fait qu'ils sont difficiles à prouver dans l'absolu et qu'ils sont également influencés par la personnalité du joueur et le contexte dans lequel le joueur évolue (où, quand, avec qui, dans quelles circonstances).

D'après (Susi *et al.*, 2007), les études sur les potentiels avantages des jeux devraient être focalisées sur les points qui permettraient de maximiser le potentiel du processus d'apprentissage en y intégrant les jeux, car ce qui rend un jeu sérieux efficace est le fait que l'apprentissage se déroule dans un contexte qui est significatif pour le jeu. La conception d'un jeu sérieux devrait par conséquent intégrer les éléments qui offrent au joueur un environnement dans lequel il serait le plus prolifique.

1.1.4 L'apprentissage dans les jeux sérieux

Les jeux sérieux constituent des outils extraordinaires d'apprentissage. Ils motivent le joueur à explorer les limites de ses compétences et de ses connaissances (Mitgutsch, 2011). Selon (Suits, 2005), «Jouer peut être définie comme une tentative volontaire de se confronter de façon satisfaisante à des défis non nécessairement utiles». Nous nous intéressons ici au cas où ce que (Suits, 2005) appelle «défis non nécessairement utiles» désigne le contenu d'un jeu sérieux, c'est à dire du contenu conçu pour transmettre un savoir ou un savoir-faire au joueur

de manière à avoir un impact significatif sur lui et sa perception du monde.

Lorsqu'on entend parler de jeu on pense tout d'abord divertissement, car c'est la fonction première des jeux. Les jeux sérieux éducatifs, à la différence des jeux purement orientés divertissement, doivent enseigner ou sensibiliser à quelque chose au delà de l'expérience-même de jeu, car une limitation du processus d'apprentissage à l'espace du jeu remettrait en question son impact éducationnel (Mitgutsch, 2011). Mais comment s'assurer qu'un jeu sérieux atteindra le but pour lequel il a été conçu ? Il est évident que le joueur apprend pendant le déroulement d'une partie de jeu. Il est sollicité à plusieurs niveaux (intellectuel, émotionnel, sensoriel, etc.) et fait face à des défis qui entraîneront des actions pour lesquelles il faudra mettre en œuvre des aptitudes dont certaines auront été développée durant le jeu. Ainsi, comprendre comment se déroule le processus d'apprentissage dans le jeu mènerait à la conception de jeux sérieux plus efficaces (Mitgutsch, 2011). Au moment de la rédaction de ce mémoire, il n'existe, au meilleur de nos connaissances, aucune étude empirique ou au niveau éducationnel permettant de comprendre ce processus de manière formelle. Aussi nous allons nous contenter de présenter quelques hypothèses théoriques sur le processus d'apprentissage sous-jacent aux jeux sérieux.

Nous nous sommes intéressés à la théorie de l'anthropologue et cybernéticien Gregory Bateson sur les niveau d'apprentissage dans les jeux (Egenfeldt-Nielsen *et al.*, 2006). Bateson s'est intéressé notamment aux types d'apprentissages mis en œuvre dans, au travers et au delà du jeu (Mitgutsch, 2011). Il a identifié sur la base de ces types, trois niveaux fondamentaux d'apprentissage selon un modèle hiérarchique (Bateson, 1972) :

1. Le *niveau zéro* qui est le niveau au cours duquel le joueur découvre le jeu, reçoit et mémorise des informations, effectue des actions en conséquence sans

nécessairement faire attention au contexte ou pouvoir justifier ses choix, et selon un processus d'apprentissage linéaire.

2. Au *niveau un*, le joueur se construit une perception du jeu, donne du sens aux données collectées au niveau zéro, et utilise toutes ces informations pour répondre aux défis du jeu de manière significative dans son contexte.
3. Le *niveau deux* concerne l'impact de l'apprentissage sur le joueur, ce que le jeu a modifié de ses perspectives vis-à-vis de lui-même et du monde. A ce niveau l'apprentissage ne se fait pas de manière linéaire et définit la façon dont le joueur mettra en œuvre son apprentissage dans le monde réel.

A ce sujet, (Mitgutsch, 2011) fait une assertion que nous avons trouvée pertinente :

L'avantage du concept d'apprentissage de Bateson est qu'il aborde l'apprentissage non seulement comme un processus de développement, émotionnel ou cognitif, mais aussi comme une activité de changement en relation avec le contexte qui est le cadre de ce changement.

Bien que l'approche de Bateson permette une compréhension avancée du processus d'apprentissage dans les jeux sérieux, et que le potentiel des jeux sérieux dans le transfert de contenus sérieux soit prometteur, il n'existe à ce jour aucun résultat d'études permettant de garantir l'impact des jeux sérieux sur la perception que le joueur a de lui-même, des autres et du monde qui l'entoure (Mitgutsch, 2011).

1.1.5 Domaines d'application

Les domaines d'application des jeux sérieux s'étendent avec les progrès de la recherche sur le sujet. Développés au départ pour la formation et l'éducation au

sein des gouvernements et les institutions, les jeux sérieux se développent aujourd'hui également dans la branche commerciale. Les jeux sérieux peuvent concerner des domaines aussi variés que la défense, la communication, la santé, la formation et l'éducation (Zyda, 2005).

1.2 Classification des jeux sérieux

Les premiers modèles de classification des jeux sérieux étaient basés sur un unique critère et pouvaient être regroupés en deux catégories : la classification selon le marché et la classification selon l'utilité (Sawyer et Smith, 2008).

Le modèle de classification que nous avons retenu est le modèle G/P/S (*Gameplay/Purpose/Scope*) proposé par (Djaouti *et al.*, 2011). Ce modèle part d'une perspective globale et propose une classification plus précise des jeux sérieux qui tient compte des dimensions «sérieux» et «jeu», et qui repose sur trois aspects : La tactique, l'utilité et la portée.

1.2.1 L'aspect tactique (*Gameplay*)

Cet aspect fournit des informations sur la manière dont le jeu est joué, distinctement des effets graphiques et sonores. Il caractérise la structure de jeu du jeu en lui-même. Il s'agit d'une notion fondamentale de la «dimension jeu» sur laquelle se focalise l'analyse de la jouabilité, en alternative à la classification classique basée sur le genre. (Portugal, 2006) définit l'aspect tactique comme une combinaison de cinq composantes : un ensemble de règles, des modes de commandes, l'organisation spatiale, l'organisation temporelle, l'organisation dramaturgique.

Ici, le critère de classification est défini sur une seule des composantes : l'ensemble de règles, plus précisément les différentes sortes de règles mises en évidence

par des études en ludologie (branche académique interdisciplinaire consacrée à l'étude des jeux). Le standard définit par ces différents types de règles à permis de distinguer deux types de jeux (Caillois et Barash, 1961) : 1) Ludus, une forme de jeu encadré par un ensemble de règles et 2) Paidia, une forme de jeu libre (absence de règles), qui s'appliquent à tous types de structures de jeu (jeu de plateau, jeu de cartes, etc.).

1.2.2 L'utilité (*Purpose*)

Cet aspect décrit l'utilité du jeu sérieux tel que définit par son concepteur, en marge du divertissement procuré par le jeu.

Ici, (Djaouti *et al.*, 2011) propose une analyse de l'aspect «utilité» basée sur les critères suivants :

- Diffusion de message. L'utilité du jeu est la diffusion de messages de types variés (éducatif, informatif, persuasif, etc.).
- Formation. L'utilité du jeu est d'améliorer les aptitudes cognitives ou les facultés motrices.
- Échange de données. L'utilité du jeu est de permettre l'échange de données qui pourraient être collectées par le jeu ou échangées par le joueur.

Un jeu vidéo pourrait être conçu de manière à réunir toutes ces trois caractéristiques en terme d'utilité.

1.2.3 La portée (*Scope*)

Cet aspect se rapporte aux applications du jeu sérieux, à ses utilisateurs cibles. Les domaines d'application des jeux sérieux sont très variés, et parmi les

secteurs cibles nous retrouvons les gouvernements, la défense, la santé, l'éducation, le secteur privé, la religion, l'art et la culture, l'écologie, la politique, le secteur humanitaire, la publicité, la recherche scientifique.

D'autres critères, déjà utilisés dans des systèmes de classement des jeux comme ESRB (1994) et PEGI (2003), permettant de définir la portée d'un jeu sérieux de manière plus précise (la tranche d'âge, le genre, etc.), proposent une approche de classification des utilisateurs plus générale en fonction de l'âge (0 à 3 ans, 4 à 7 ans, etc.), inspirée par les systèmes ESRB et PEGI, et du type (grand public, professionnels, étudiants). A titre d'exemple pour la classification par type, dans le secteur du droit public, «professionnel» pourrait se rapporter aux juristes exerçants, «grand public» à leurs clients, et «étudiants» aux étudiants des écoles de droit.

La figure 1.1, extraite de (Djaouti *et al.*, 2011), présente une forme imprimable du modèle G/P/S qui peut être utilisée pour classer rapidement n'importe quel type de jeu sérieux.

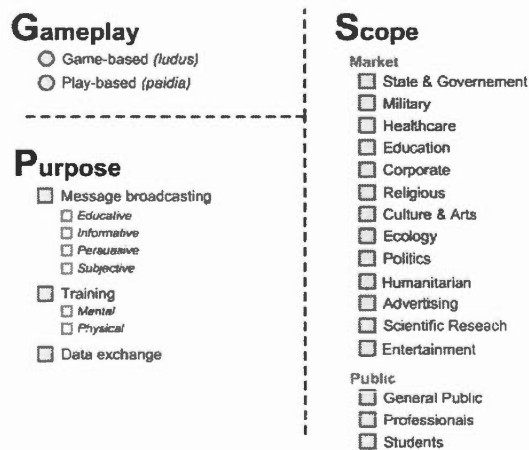


Figure 1.1: Représentation du modèle G/P/S.

1.3 Jeux sérieux et éducation

Depuis la popularisation des jeux sérieux au début des années 2000, de nombreuses publications ont été faites au sujet de l'intérêt effectif de leur utilisation pour l'apprentissage. Il est ressorti de notre revue de littérature dans le domaine, qu'il existe de nombreuses conclusions d'études reportant les aspects positifs et négatifs de l'utilisation des jeux sérieux pour l'apprentissage.

Bien qu'il ait été prouvé, sous certaines hypothèses, que l'utilisation de tels jeux pour l'éducation stimule le plaisir, la motivation et l'engagement du joueur, et peut également encourager le développement de nombreuses aptitudes sociales et facultés cognitives, des études montrent par ailleurs qu'une utilisation fréquente des jeux vidéo peut aider à développer des tendances psycho-sociales négatives, à créer une addiction ou même encore affecter la santé du joueur (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

Dans cette partie nous présentons les concepts reliés aux jeux pour l'éducation en général et aux jeux sérieux en particulier. Nous présentons également une étude de l'impact de tels jeux sur l'apprentissage, les éléments utilisés pour prouver leur efficacité et des recommandations pour la conception d'un jeu éducatif efficace.

1.3.1 Concepts reliés aux jeux sérieux

Les jeux sérieux constituent un des produits issues du long processus en cours visant à combiner divertissement et éducation dans les jeux (Breuer et Bente, 2010). Ils intègrent donc logiquement des concepts liés à l'apprentissage ou l'éducation, au divertissement, aux jeux ou à une combinaisons de plusieurs de ces éléments.

Nous nous basons ici sur la description des concepts liés aux jeux sérieux faite

par (Susi *et al.*, 2007). Il s'agit du *e-learning*, de l'*edutainment*, de l'apprentissage basé sur le jeu (*game-based learning*) et l'apprentissage à base de jeu numérique (*digital game-based learning*).

Le *e-learning* se réfère à l'ensemble des moyens permettant l'apprentissage par les moyens électroniques (fr.wikipedia.org²). Il s'agit très souvent de l'apprentissage à distance incluant l'utilisation des ordinateurs et des technologies interactives (Hodson *et al.*, 2001).

L'*edutainment*, souvent associé aux jeux vidéo à contenu éducatif, se réfère à toute approche éducative présentant un aspect récréatif.

L'apprentissage basé sur le jeu fait référence à la catégorie de jeux sérieux dont l'application dans un domaine se base sur des résultats clairement définis (fr.wikipedia.org³). Selon (Corti, 2006) assimile plus ou moins les jeux sérieux à l'apprentissage basé sur le jeu dont l'engagement, la motivation, le jeu de rôles et la répétabilité lui fournissent le potentiel d'améliorer de manière significative les activités de formation et l'esprit d'initiative.

L'apprentissage à base de jeu sur ordinateur est assimilable à l'apprentissage basé sur le jeu, avec la particularité qu'il est défini dans le cadre des jeux sur ordinateur (Susi *et al.*, 2007).

La figure 1.2, extraite de (Breuer et Bente, 2010), montre les relations entre les jeux sérieux et des concepts similaires.

2. https://fr.wikipedia.org/wiki/Formation_en_ligne - Accédé le 28-08-2016

3. https://fr.wikipedia.org/wiki/Jeu_sérieux - Accédé le 28-08-2016

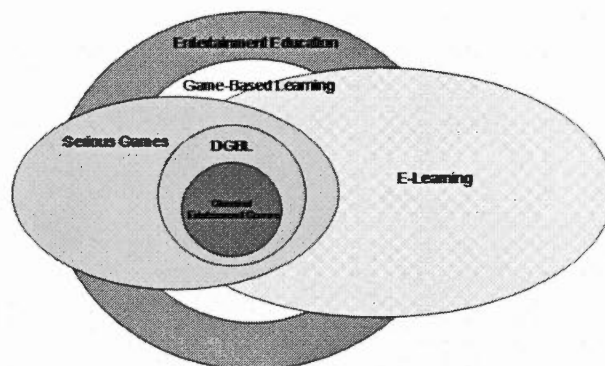


Figure 1.2: Relations entre jeux sérieux et concepts éducatifs similaires.

1.3.2 Impact des jeux sérieux sur le joueur

Les jeux vidéo sont devenus très populaires de nos jours. des études montrent que de nombreux jeunes, indépendamment du genre, passent une grande partie de leur temps de loisir à jouer à des jeux vidéo (Kirriemuir, 2002). De plus la plupart des plateformes technologiques actuelles remplissent les critères techniques requis pour pouvoir jouer de tels jeux, téléphones mobiles inclus, ce qui les rend accessibles à ceux qui ne possèdent ni ordinateur, ni console de jeu, ni télévision interactive (Mitchell et Savill-Smith, 2004). Cette accessibilité accrue offrant de nouvelles possibilités pour le développement des jeux en général et des jeux sérieux en particulier, a conduit à des études approfondies sur l'impact de tels jeux sur le joueur. Cet impact, d'après les résultats d'études, porte essentiellement sur les aspects physiologiques, psychosocial et comportemental (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

Il est également important de préciser que les points reportés dans la suite sont généralement relevés dans des cas d'utilisation fréquente ou abusive.

Sur le plan physiologique, il a été rapporté des cas de fatigue oculaire, migraines, douleurs à la poitrine, fatigue, sauts d'humeur, cernes sous les yeux pour les cas de manque de sommeil, raideurs musculaires (Tazawa et Okada, 2001; Tazawa *et al.*, 1997). Des experts médicaux ont également soulevé des inquiétudes concernant les effets sur le métabolisme, les risques cardio-vasculaires et les risques de tendinites ou d'entorses (Cleary *et al.*, 2002; Dorman, 1997; Emes, 1997). Certaines études ont même reporté des risques de crise d'épilepsie provoquée par les effets stroboscopiques contenus dans certaines séquences d'images dans les jeux vidéo (Ricci et Vigevano, 1999).

Sur le plan psychosocial, le résultat de l'étude de (Bosworth, 1995) reporte une forte tendance aux comportements à risque chez les joueur fréquents, de même qu'à la dépression pour les plus dépendants.

Dans le rapport d'études présenté par (Mitchell et Savill-Smith, 2004), sont également associés aux joueurs fréquents les risques d'isolation sociale, des tendances aux comportements antisociaux et des tendances aux paris, au vol et à la délinquance chez les accros aux jeux financiers. Un point de ce rapport traite des effets négatifs que les jeux vidéos peuvent avoir sur l'estime de soi, notamment du fait que la valorisation de soi-même qu'on se fait en gagnant en aptitudes dans le jeu peut faussement déteindre sur la réalité, ou pire encore servir de substitut à cette dernière si le joueur a des difficultés à y trouver ses repères.

Sur le plan comportemental il s'agit essentiellement de l'impact des jeux violents sur les comportements sociaux du joueur. Nous ne nous y attarderons pas étant donné que l'on retrouve très rarement un niveau critique de violence dans les jeux sérieux. De plus, les jeux sérieux encouragent plutôt les comportements prosociaux au détriment de la compétition et de la violence comme c'est le cas dans un certain nombre de jeux récréatifs (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

1.3.3 Pourquoi utiliser les jeux sérieux pour l'apprentissage ?

Tel que mentionné plus haut dans ce chapitre, les effets de certaines caractéristiques des jeux informatiques sur la motivation et l'engagement du joueur a été mis en évidence par de nombreuses études. Les tables 1.2 et 1.3, extraits de (Mitchell et Savill-Smith, 2004), résument de manière claire les éléments qui contribuent à la motivation et à l'engagement du joueur dans les jeux vidéo.

Tableau 1.2: Les éléments des jeux vidéo qui créent l'engagement du joueur.

Caractéristiques du jeu informatique	Comment ces caractéristiques contribuent à l'engagement du joueur
Plaisir	Jouissance et plaisir
Déroulement du jeu	Implication passionnée et intense
Règles	Structure
Buts	Motivation
Interaction	Action
Gain et feedback	Apprentissage
Adaptatibilité	Fluidité
Victoire	Gratification de l'ego
Conflit/compétition/défi et opposition	Adrenaline
Résolution de problème	Stimule la créativité
Interaction	Groupes sociaux
Représentation et histoire	Emotion

Tableau 1.3: Les éléments des jeux vidéos qui contribuent à la motivation.

Quels sont les indicateurs de la motivation ?	Travail indépendant Autonomie Persistance Le plaisir dans l'apprentissage
Qu'est ce qui génère de la motivation ?	Participation active Feedback direct et intrinsèque Objectifs difficiles mais réalisables Un mélange d'incertitude et possibilités infinies
Que peut apporter la motivation ?	Collaboration Construction commune de l'apprentissage Compétition et coopération constructive Opportunités égales
Sur quoi s'appuie une motivation soutenue ?	Une version de la réalité Pertinence pour l'utilisateur Rôles reconnaissables et désirables pour les joueurs
Quels problèmes peuvent entraîner la motivation ?	La motivation peut conduire à l'obsession La motivation peut amener à brouiller les frontières entre la réalité et la fiction La motivation peut conduire à l'égotisme

Même si le manque de données empiriques nous empêche de l'affirmer de manière formelle, le potentiel des jeux informatiques à enrichir le processus d'apprentissage a été reconnu. Les jeux peuvent être un moyen de susciter l'intérêt ou améliorer l'estime de soi chez les apprenants qui en manquent (Klawe, 1994). Ils pourraient également jouer un rôle majeur dans l'éducation et la formation en réduisant considérablement les temps de formation et la charge de travail des formateurs, ce qui entraînera une meilleure acquisition et rétention de connaissances (Ricci, 1994). En effet des contenus reproduisant le contexte et les éléments de la formation pourront être mis à la disposition des apprenants de manière à ce qu'il

puissent procéder à des répétitions d'exercices de façon autonome et selon leurs dispositions.

Par ailleurs, et c'est ce qui a notamment motivé la conception de Prat'Sécuritaires, les avancées dans le domaine de l'intelligence artificielle a suscité des questions sur les possibilités d'intégrer les jeux informatiques dans des systèmes tutoriels intelligents (Mehmood Khan, 2002).

Le point suivant de ce chapitre traite des conditions que doit remplir un jeu informatique pour qu'il puisse être intégré à un logiciel éducatif. Ces conditions sont également valables pour un système tutoriel intelligent de type jeu sérieux.

1.3.4 Comment concevoir un jeu éducatif de qualité ?

Les éléments que nous présentons dans cette section sont tirés de (Mitchell et Savill-Smith, 2004), qui en se basant sur des résultats de recherche, ont dressé en quelques points une liste de recommandations pour la planification et la conception des jeux éducatifs. Nous résumons ici ces différents points :

Faire une conception pour des solutions d'apprentissage mixte

L'apprentissage mixte se réfère à un modèle d'apprentissage où le programme de formation de l'apprenant combine à la fois des cours dispensés par des enseignants et des cours via un système en ligne. La conception du jeu doit définir de manière pertinente le rôle de chaque partie afin de faciliter l'apprentissage en offrant des interactions utiles. Aussi, les enseignants doivent participer au processus de conception car ils sont en mesure d'identifier les lacunes des apprenants et aider à définir des objectifs et des stratégies visant à combler ces lacunes.

Mettre l'accent sur la structure plutôt que le contenu

Pour s'assurer d'offrir un système efficace pour l'apprentissage ou l'enseignement, les concepteurs doivent étudier les caractéristiques des jeux qui pourront aider les utilisateurs à atteindre les objectifs, car ce serait un atout d'exploiter les principes et les gains d'apprentissage associés aux jeux informatiques au moment de la conception d'un jeu à des fins éducatives.

La table 1.4 ci-après, extrait de (Mitchell et Savill-Smith, 2004) présente les aspects des jeux qu'il serait intéressant d'intégrer à des logiciel éducatifs.

Tableau 1.4: Critères à remplir par un jeu pour être intégré à un logiciel éducatif.

Technologique	Graphisme Sons Interaction
Narratif	Originalité Intrigue Curiosité Compexité Fantaisie
Personnel	Logique Mémoire Réflexes Compétences en mathématiques Défi Résolution de problème Visualisation

Encourager la participation active

La participation active est essentielle en ce sens qu'elle permet au joueur de comprendre et de s'approprier le jeu en se confrontant aux défis de ce dernier (Fabricatore, 2000). Partant de la considération que l'apprentissage est soit incidentel, soit intentionnel, l'un des défis de conception des jeux éducatifs serait de trouver le moyen d'appliquer l'apprentissage incidentel à une tâche intentionnelle d'apprentissage (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

Autant la motivation intrinsèque que extrinsèque peut entrer en ligne de compte dans les jeux vidéo, et il a été établi qu'un degré élevé d'auto-détermination - un facteur qui est lié à la motivation intrinsèque - affecte la qualité de l'apprentissage. (VanDeventer et White, 2002)

(Mitchell et Savill-Smith, 2004) présente une liste exhaustive de dix-neuf points (page 51) à prendre en compte dans la phase de conception d'un jeu informatique de qualité, pour faciliter l'apprentissage intrinsèque afin d'encourager la participation active du joueur.

Répondre à la diversité

Il est important de considérer les différences concernant les apprenants et les aspects spécifiques à la conception du cadre de jeu, au moment de la conception d'un jeu éducatif. La structure du jeu doit pouvoir offrir un grand nombre d'aptitudes et d'habiletés pour satisfaire aux besoins de l'utilisateur, qu'il soit un apprenant ou un enseignant se préparant à utiliser le logiciel.

Répondre au défi de l'évaluation dans un environnement ouvert

Une évaluation détaillée décrivant les différents niveaux de compétence de l'apprenant est considérée inadéquate pour les jeux informatiques car ces derniers sont incapables d'associer cette évaluation au comportement du joueur de même qu'utiliser le processus d'évaluation pour déterminer les faiblesses du joueur et adapter le processus d'apprentissage pour les corriger. Prat'Sécuritaires s'inscrit donc ici comme une solution car notre système fourni, grâce à son moteur STI, des mécanismes d'évaluation de l'apprenant ainsi que l'adaptabilité nécessaire pour l'aider à corriger ses erreurs ou combler ses lacunes.

Contrer le potentiel impact négatif du jeu fréquent

Plus haut dans cette section nous avons exposé les potentiels effets négatifs des jeux informatiques sur les utilisateurs en présentant leur impact sur un joueur fréquent ou abusif. Dans le souci de créer un jeu éducatif efficace et de qualité, les choix de conception doivent être orientés par le besoin de minimiser chacun de ces possibles effets non souhaités.

(Mitchell et Savill-Smith, 2004) présente une liste de suggestions tirées de la littérature, visant à aider à réduire les attributs négatifs associés à une utilisation fréquente des jeux informatiques : aider le joueur à garder la séparation entre le virtuel et le réel, considérer les effets d'une exposition fréquente à des contenus violents, stimuler l'imagination du joueur en mettant à l'épreuve ses aptitudes et sa créativité, valoriser de manière adéquate le gain immédiat aussi bien que la rétribution suite à un effort prolongé, offrir une multitude de possibilités en proposant des scénarios riches et variés.

Répondre aux problèmes de gestion, mise en réseau et connexion sans fil des jeux informatiques multijoueurs

Avec l'évolution des technologies, de nombreux jeux informatiques offrent la possibilité de jouer en ligne et de rivaliser avec d'autres joueurs ou travailler en équipe pour atteindre un but commun. Les jeux informatiques en ligne permettent de vivre une expérience riche qui passe à travers des interactions complexes et l'accès à des ressources puissantes et de grande qualité. Assurer un tel niveau de jeu requiert de considérer les caractéristiques matérielles et logicielles des équipements locaux des joueurs, les équipements distants de la plateforme offrant le jeu ainsi que les réseaux à travers lesquels les services sont livrés (Internet en général). (Mitchell et Savill-Smith, 2004) dresse une liste assez exhaustive des points que les développeur de jeux en ligne doivent prendre en compte : les limites techniques (bande passante, temps de latence du réseau, puissance de calcul, etc.), les architectures et les protocoles de communication, la scalabilité du jeu, la sécurité, l'intégrité, les abus, l'ingénierie sociale, etc.

1.4 Plateformes et périphériques d'entrée pour les jeux sérieux

A l'ère du tout numérique, les jeux informatiques sont multi-plateformes et les appareils gagnent sans cesse en performance et en qualité. On retrouve les jeux informatiques aussi bien sur consoles de jeux, ordinateurs portables et de bureau, téléphones mobiles, machines de salles de jeux, appareil de jeu portatif (ex., Nintendo DS), que dans des systèmes embarqués (dans des véhicules ou des avions).

Les plateformes mobiles ont beaucoup évolué et ne posent plus de limitation aux applications développées pour, ce qui a propulsé le développement des jeux mobiles dont le marché est en pleine croissance. De plus les nouveaux appareil

offrent sans cesse une meilleure résolution d'écran, une grande capacité mémoire et fonctionnalités enrichies à un coût de développement beaucoup plus réduit que celui des jeux développés pour les plateformes traditionnelles (Mitchell et Savill-Smith, 2004).

1.5 Le futur des jeux sérieux

Les jeux sérieux ont été conçus à la base pour permettre au joueur d'acquérir des connaissances et des compétences, promouvoir l'activité physique, aider au développement socio-émotionnel et remédier à différents types de troubles psychologiques et physiques à travers une nouvelle forme d'interaction avec les jeux (Ma *et al.*, 2011). Le concept de jeu conçu pour un but utile autre que le pur divertissement est en pleine expansion et verra des innovations et de grandes avancées technologiques dans les années à venir.

La technologie des jeux est bon marché, largement disponible, amusante et divertissante pour les personnes de tous âges. Si on l'utilise parallèlement, ou en combinaison avec la formation conventionnelle et des approches pédagogiques, elle pourrait fournir un plus puissant moyen de transfert de connaissances dans presque tous les domaines d'application. (Ma et al., 2011)

L'évolution des technologies de réalité mixte a introduit une nouvelle ère pour les jeux informatiques implémentant la réalité augmentée qui utilise à la fois le monde réel du joueur et l'univers virtuel du jeu afin d'enrichir l'expérience de jeu. Pokemon Go⁴ qui connaît un succès fulgurant dans le monde entier au moment où nous rédigeons ce mémoire, en est un bon exemple. Nous sommes

4. <http://www.pokemongo.com/>

persuadés que de nombreux travaux porteront dans le futur sur les jeux sérieux dans des environnements de réalité augmentée, et nous étudions déjà la possibilité d'intégrer la réalité augmentée dans Prat'Sécuritaires afin d'améliorer l'immersion du joueur et augmenter l'impact sur l'apprentissage.

Un autre aspect qui fera l'objet d'innovations est celui des périphériques alternatifs d'entrée de données qui viendront rivaliser avec le duo clavier et souris pour les jeux sur ordinateurs de bureau, les manettes de jeu, les télécommandes et les récentes interfaces sans contrôleur - Microsoft Kinect et Playstation Move (Ma *et al.*, 2011). (Thorpe *et al.*, 2011) passe en revue les périphériques d'entrée conventionnels et alternatifs parmi lesquels figurent les interfaces haptiques en référence auxquelles (Arnab *et al.*, 2011) stipule que la stimulation de multiples perceptions permettrait de reproduire avec plus de précision l'expérience d'apprentissage dans le monde virtuel.

Le succès des médias sociaux a induit le développement des jeux sociaux dont la popularité offre aujourd'hui de nouvelles possibilités pour l'apprentissage. Selon (Ma *et al.*, 2011), en plus de la popularité des jeux sociaux, l'utilisation des médias sociaux pour l'apprentissage devient importante du fait de l'efficacité prouvée des interactions sociales dans le processus d'apprentissage, et l'introduction de la psychologie sociale dans les jeux sérieux fera certainement l'objet de futurs développements dans le domaine des applications pour l'éducation.

Cette section marque la fin du chapitre 1. Dans le chapitre 2, nous présentons un état de l'art des systèmes tutoriels intelligents.

CHAPITRE II

LES SYSTÈMES TUTORIELS INTELLIGENTS

Après avoir défini les jeux sérieux, présenté leurs caractéristiques et étudié la manière dont elles peuvent être mises à contribution pour enrichir le processus d'apprentissage, nous allons nous intéresser au deuxième aspect de Prat'Sécuritaires qui est l'aspect système tutoriel intelligent (STI). Comme pour les jeux sérieux, nous allons étudier le fonctionnement des STIs et la manière dont nous pouvons les mettre à contribution, conjointement avec les jeux sérieux, pour supporter le processus d'apprentissage. Dans la première partie de ce chapitre nous ferons une présentation détaillée des STIs, ensuite nous donnerons un aperçu du domaine des STIs de type jeu sérieux afin de situer notre système dans un contexte et mettre en valeur les solutions qu'il propose.

2.1 La notion de système tutoriel intelligent

Dans cette section nous définissons les systèmes tutoriels intelligents après un aperçu historique, puis nous présentons leurs différentes composantes et leur rôle afin de mettre en évidence le potentiel des STIs pour l'apprentissage.

2.1.1 Historique et définition

Les progrès technologiques ayant suivi l'avènement des ordinateurs ont considérablement augmenté la puissance de calcul de ces derniers. Le gain en performance des ordinateurs a engendré la naissances de nouveaux champs de recherche parmi lesquels celui qui est aujourd'hui l'un des plus prometteurs : l'intelligence artificielle. Grâce au jeu de l'imitation, (Turing, 1950) a été un précurseur dans le domaine de l'intelligence artificielle en testant l'habileté d'une machine à manifester une forme d'intelligence différente ou équivalente à celle d'un humain. Dès le début des années 1960s, les ordinateurs on été utilisés à des fins éducatives variées. De même, la formation assistée par ordinateur a rapidement gagné le domaine de l'éducation et le marché de la formation (Corbett *et al.*, 1997). Le début des années 1970s des objectifs ambitieux dans la recherche sur la formation assistée par ordinateur on conduit au développement des premiers systèmes tutoriels intelligents qui on été obtenus en appliquant les techniques d'intelligence artificielle pour implémenter un modèle pédagogique basé sur un tuteur humain dans une formation assistée par ordinateur. Le système tutoriel intelligent remplirait à ce moment la fonction d'engager l'apprenant dans une activité de raisonnement soutenu en interagissant avec lui sur la base d'une compréhension profonde de son comportement. Le développement des STIs s'est poursuivi depuis jusqu'aux version de systèmes complexes offrant des formations adaptatives et de qualité que nous retrouvons aujourd'hui.

Un système tutoriel intelligent (STI) peut être défini comme un environnement d'apprentissage informatisé qui intègre des modèles computationnels empruntés aux sciences cognitives, à la linguistique computationnelle, aux sciences de l'éducation, à l'intelligence artificielle, aux mathématiques ainsi qu'à d'autres domaines (Graesser *et al.*, 2012). Un STI est capable de traquer le comportement de

l'apprenant à l'aide d'un processus appelé modélisation de l'apprenant. Le modèle de l'apprenant peut comprendre ses connaissances sur le sujet d'apprentissage, ses compétences, sa stratégie d'apprentissage, son degré de motivation, ses émotions et d'autres attributs que l'on peut évaluer. Le STI utilise les informations de ce modèle pour interagir avec l'apprenant de manière adaptative. Les STIs ont fait leurs preuves avec le temps et se sont montrés très efficaces notamment dans les domaines des mathématiques, des sciences et des technologies (Graesser *et al.*, 2001). Ils représentent un support d'apprentissage ayant un impact nettement plus important que l'environnement des salles de classes et peuvent captiver l'attention et l'intérêt de l'apprenant pendant des heures.

2.1.2 Les composants d'un STI

L'architecture de base d'un système tutoriel intelligent est constituée de quatre composantes : le module expert, le module tuteur, le module apprenant et l'interface utilisateur. Cette architecture peut être adaptée selon les besoins ou les contraintes du système à implémenter. La figure 2.1, extraite de (Nkambou *et al.*, 2010), présente l'architecture générale d'un système tutoriel intelligent (STI).

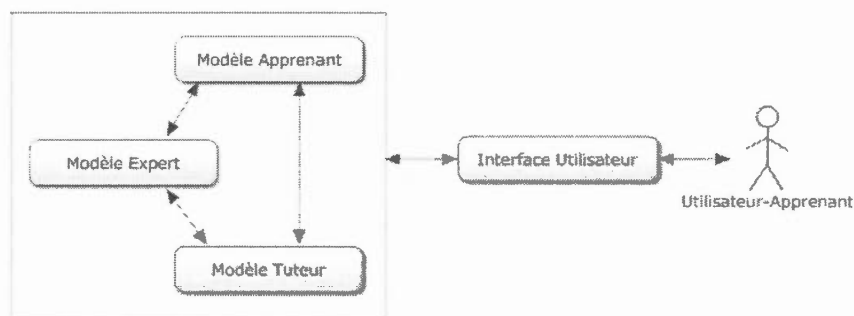


Figure 2.1: Architecture générale d'un STI.

2.1.2.1 Le module Expert ou module du Domaine

Le module expert est la composante du STI dans laquelle sont encodées les connaissances et les mécanismes de résolution de problèmes du domaine sur lequel porte l'apprentissage. Il est comparable à un expert humain et doit être capable d'appliquer un raisonnement sur les connaissances qui y sont encodées et fournir une explication sur la démarche suivie pour résoudre les problèmes. L'expert est la source de connaissance du système à transmettre à l'apprenant. Il fournit au système une norme pour évaluer la performance de l'apprenant, détecter ses erreurs ou ses idées fausses (Nkambou *et al.*, 2010). De part son importance dans le système, son implémentation constitue souvent les 50% de l'effort de développement et nécessite de suivre de manière systématique une méthodologie d'ingénierie des connaissances pour garantir la fiabilité et la robustesse du système. Il existe plusieurs formalismes de représentation des connaissances dans le module expert : système de production de règles, les réseaux sémantiques, les représentations procédurales, les réseaux de procédures, les scripts et les représentations basées sur les objets structurés (*frames*) (Paquette, 1999). Selon ces différents formalismes, ils existe trois approches de modélisation de l'expert du domaine (Nkambou *et al.*, 2010) :

- L'approche «Boîte Noire». Appliquer une quelconque méthode de raisonnement sur le domaine. L'expert fournit les mécanismes de résolution des problèmes et les normes pour évaluer l'apprenant, mais ne fournit aucune explication sur les démarches suivies pour la résolution des problèmes.
- Système expert. L'expert peut au besoin expliquer les démarches de résolution de problèmes. Cette approche offre une représentation articulée des connaissances à la base de l'expertise.
- Modèle cognitif. L'expert simule la manière dont l'humain utilise ses connaissances pour résoudre les problèmes.

D'après le diagramme comparatif de la figure 2.2 (Nkambou *et al.*, 2010), l'approche de modélisation du module expert qui démontre la plus grande efficacité pédagogique est le modèle cognitif. Ce modèle nécessite un grand effort d'implantation et constitue le modèle qui se rapproche le plus de l'intelligence humaine du fait qu'il s'appuie sur le modèle de tutorat humain.

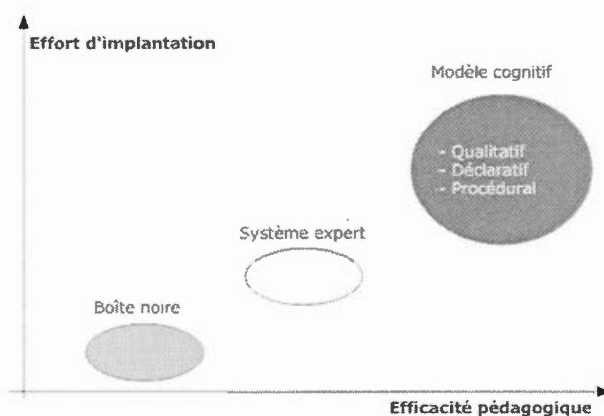


Figure 2.2: Diagramme comparatif des méthodes de modélisation de l'expert.

2.1.2.2 Le module Tuteur

Le module tuteur est la composante du STI qui implémente les stratégies pédagogiques propres au domaine cible de l'apprentissage. Il interagit avec le module expert et le module apprenant pour choisir et planifier les activités présentées à l'apprenant tout en lui fournissant, le cas échéant, des explications adaptées. Le tuteur décide de quand et comment intervenir selon la stratégie la plus appropriée et en fonction du résultat du diagnostic de l'apprenant (état cognitif, état émotionnel, niveau d'expertise, connaissances, compétences, forces et faiblesses, etc.). Il a le choix entre plusieurs stratégies possibles :

- Entraînement (*Coaching*). Le tuteur offre des conseils à l'apprenant et le guide lorsqu'il s'éloigne de la solution.
- Apprentissage socratique. Le tuteur propose des exercices mettant en pratique les éléments du domaine pour amener l'apprenant à identifier les règles de niveau supérieur et les concepts. L'approche vise à faire révéler à l'apprenant ce qu'il possédait déjà sans en être conscient. Ce dernier examine les données immédiates de sa conscience de façon à répondre à des questions qui la sollicitent et cherche à agir adéquatement à partir de cette conscience éveillée.
- Apprentissage exploratoire. Le tuteur laisse l'apprenant explorer librement le problème et n'intervient qu'à la demande de ce dernier.
- Apprentissage par perturbation.
- Apprentissage par auto-explication.
- Apprentissage par la pratique. Le tuteur fait quelques démonstrations de résolution de problème étape par étape, avant de demander à l'apprenant d'effectuer la procédure par lui-même.
- Apprentissage par problème. Le tuteur choisit des problèmes qui répondent aux lacunes de l'apprenant.
- Etc.

Le tuteur s'appuie à chaque fois sur des approches éducatives appropriées pour prendre sa décision. Il supervise l'apprentissage pendant toute la durée de l'activité. Chaque fois que l'apprenant effectue une action ou fournit la réponse à un problème, le tuteur consulte l'expert pour évaluer sa réponse, lui fournit le feedback approprié selon le contexte et met à jour son modèle. Le rôle important que joue le feedback du tuteur dans le processus d'apprentissage a été prouvé et un cadre formel d'élaboration des bonnes stratégies de feedback a été établi

(Narciss, 2008) pour maximiser le gain d'apprentissage chez l'apprenant.

2.1.2.3 Le module Apprenant

Le module apprenant est une représentation dans le STI de l'état de l'apprenant (cognitif, affectif, psychologique, etc.) établi suivant un processus qui s'apparente au diagnostic médical. Ce module est consulté périodiquement par le tuteur et l'expert pour déterminer l'aspect de la formation sur lequel centrer le système (Nkambou, 2010). Il est constitué de trois sous-modèles : modèle affectif, modèle cognitif et modèle inférentiel. Le modèle affectif permet le stockage des préférences, du profil psychologique et de l'état émotionnel ou motivationnel de l'apprenant. Ces informations varient avec le contexte et sont utilisées par le système pour adapter les interactions avec l'apprenant (sélection et séquençement du contenu à présenter, choix du mode de communication, choix de l'approche pédagogique, etc.). Le modèle inférentiel permet au système de faire un diagnostic de l'état de l'apprenant servant à déterminer les causes des erreurs afin de les corriger. Le diagnostic de l'état de l'apprenant peut se faire suivant deux approches :

- Le «*Model Tracing*». Le système crée et analyse la trace des activités de l'apprenant. Cette approche nécessite une bonne modélisation du processus de résolution de problèmes dans le système.
- Le «*Knowledge Tracing*». Le système analyse un épisode d'apprentissage afin d'identifier les connaissances qui ont été utilisées par l'apprenant. Cette approche ne nécessite pas une modélisation complexe du processus de résolution.

Le modèle cognitif de l'apprenant est souvent considéré comme une superposition sur les connaissances de l'expert (*Overlay*). Les connaissances de l'apprenant sont alors considérés comme formant un sous-ensemble des connaissances de l'ex-

pert. Le modèle de l'apprenant est alors mis à jour en le comparant au modèle de l'expert. Chaque fois que le modèle de l'apprenant diffère du modèle de celui de l'expert du domaine le système identifie une erreur ou une idée fausse de l'apprenant. La figure 2.3 présente les deux variantes du modèle superposition (*Overlay*) : une variante dans laquelle les connaissances de l'apprenant sont entièrement incluses dans celles de l'expert (a), et une variante dans laquelle sont stockées les informations sur les conceptions erronées de l'apprenant (b). La deuxième variante permet une meilleure planification des interventions du système dans le processus d'apprentissage.

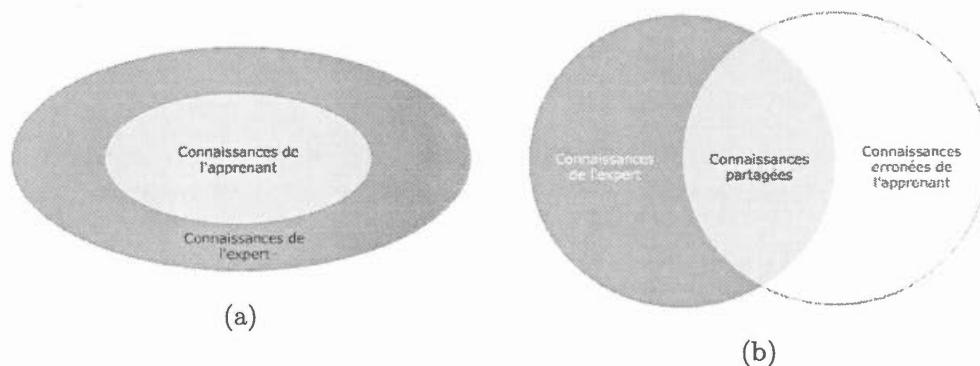


Figure 2.3: Les variantes du modèle «*Overlay*».

Il existe plusieurs approches permettant de d'implémenter les superpositions :

- Réseau sémantique. les nœuds et liens sont ajoutés au fur et à mesure que les concepts sont appris par l'étudiant ;
- Banque de connaissances de l'expert. Annoter des déviations que l'on découvre au fur et à mesure de l'interaction avec l'apprenant.
- Ensemble des compétences acquises par l'étudiant. Les compétences sont construites sur les éléments de connaissance du domaine. Elles indiquent

clairement l'habileté de l'apprenant à utiliser cette connaissance.

- Réseau bayésien. Chaque nœud du réseau a une valeur aléatoire qui indique la probabilité que l'apprenant connaisse l'élément de connaissance concerné. Il permet un raisonnement probabiliste sur l'état des connaissances de l'apprenant, en tenant compte des observations notées lors de ses interactions avec le tuteur.

2.1.2.4 L'interface utilisateur

L'interface utilisateur est la composante qui contrôle les interactions entre l'apprenant et le système. Elle sert de traducteur bilatéral entre la représentation interne du système et le langage d'interface compréhensible à l'apprenant (Nwana, 1990). La conception de l'interface utilisateur est une étape très importante du processus de développement d'un STI. En effet la qualité d'une interface peut affecter positivement ou négativement la perception que l'apprenant des interactions avec le système.

Etant donné que l'interface utilisateur est la forme finale sous laquelle le STI se présente à l'apprenant, les caractéristiques telles que la facilité d'utilisation et l'attrait pourraient avoir un impact décisif sur l'envie de l'apprenant d'utiliser le système ou non (Nwana, 1990). Nous verrons plus loin dans le chapitre 6 que ces deux caractéristiques font partie des critères d'évaluation des STIs et des jeux sérieux.

Les interfaces utilisateur des STIs peuvent se présenter sous différents aspects selon le type d'apprentissage (simulation, résolution de problèmes, etc.), la nature des données échangées (commandes, voix, etc.) entre l'apprenant et le système, le domaine de l'apprentissage (pratiques sécuritaires en situation d'urgence, mathématiques, etc.), ou encore l'objectif visé par l'apprentissage (partage

d'expérience, transfert de compétences, etc.).

Il existe aujourd'hui de nombreux outils permettant de réaliser des interfaces de haute qualité graphique. A titre d'exemple, nous pouvons citer Adobe Photoshop¹ ou GIMP² pour la modélisation 2D et SkechUp³ (utilisé pour réaliser l'interface du projet présenté dans ce mémoire) ou Blender⁴ pour la modélisation 3D. Les concepteurs de STI devraient en tirer avantage pour réaliser des interfaces qui contribuent à susciter de l'attrait, enrichir l'expérience utilisateur et augmenter le gain d'apprentissage.

Cette section marque la fin du chapitre 2. Dans le chapitre 3, nous présentons l'architecture de notre STI de type jeu sérieux Prat'Sécuritaires.

1. <http://www.adobe.com/ca/products/photoshop.html>

2. <https://www.gimp.org/>

3. <https://www.sketchup.com/>

4. <https://www.blender.org/>

CHAPITRE III

ARCHITECTURE DU STI DE TYPE JEU SÉRIEUX PRAT'SÉCURITAIRES

Dans ce chapitre, nous présentons l'architecture et les éléments conceptuels de Prat'Sécuritaires, un outil que nous avons conçu et proposons comme solution aux problématiques énoncées à l'introduction, et eût égard à l'état de la recherche dans le domaine au moment de la conception de notre projet, tel que étudié dans la section précédente. Prat'Sécuritaires est un STI de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires. Il est conçu pour aider l'apprenant, à travers un processus d'apprentissage adaptatif au sein d'un environnement stimulant, à acquérir les connaissances et compétences nécessaires pour réagir de façon sécuritaire en situations réelles d'urgence. Prat'Sécuritaires se veut être une plateforme générique donnant la possibilité d'intégrer divers scénarios d'apprentissage au sein de divers environnements permettant ainsi d'implémenter tous les types de situations d'urgence.

Cette partie vise essentiellement à démontrer la pertinence des approches d'ingénierie que nous avons adoptées (ingénierie des connaissances et génie logiciel), le rôle important qu'elles ont joué dans la réalisation de nos objectifs et la capacité du système conçu à démontrer notre hypothèse de recherche.

3.1 Composantes

Dans cette section, nous faisons une présentation détaillée des composantes de notre STI de type jeu sérieux Prat'Sécuritaires. Il s'agit des composantes de base d'un STI tels que décrits dans le Chapitre 2 : les modules tuteur, expert, apprenant et l'interface utilisateur. La grande particularité ici est le fait que l'interface utilisateur soit un environnement de jeu vidéo qui plonge le joueur dans une immersion totale et avec lequel il interagit grâce aux composantes disposées à cet effet dans le jeu.

3.1.1 Modèle Apprenant

Le modèle de l'apprenant permet de décrire et de suivre la trace de l'évolution de l'apprentissage de l'apprenant, son niveau, ses lacunes, ses idées fausses, etc. Les données du modèle de l'apprenant sont mises à jour à partir des informations obtenues suite à ses décisions et ses actions dans le jeu. Dans Prat'Sécuritaires, le modèle de l'apprenant sera, à terme, constitué des composantes suivantes :

1. Le *Modèle Statique*, contenant des données statiques sur l'apprenant (nom, âge, type d'apprenant, etc.).
2. Le *Modèle des Connaissances*, contenant les connaissances de l'apprenant.
3. Le *Modèle des Compétences*, contenant les croyances du système sur les compétences de l'apprenant.
4. Le *Modèle Psychométrique*, contenant les informations permettant d'initialiser le modèle de l'apprenant en début de partie.
5. Le *Modèle Statistique*, contenant la trace d'activités de l'apprenant dans le jeu (actions, temps écoulé, etc.).
6. Le *Modèle Psychologique*, contenant les informations permettant de décrire

les comportements et les processus mentaux de l'apprenant au fil des parties de jeu.

7. Le *Modèle Affectif*, contenant des données permettant de décrire l'état affectif de l'apprenant.

Au stade actuel d'avancement du projet, seules les composantes 1, 2, 3 et 5 ont été implémentés. Les autres composantes sont en cours de développement et intégreront les prochaines versions du système. Nous avons rencontrés des difficultés d'ordres conceptuel et technique que nous décrirons dans le chapitre suivant. La figure 3.1 présente le modèle de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires.

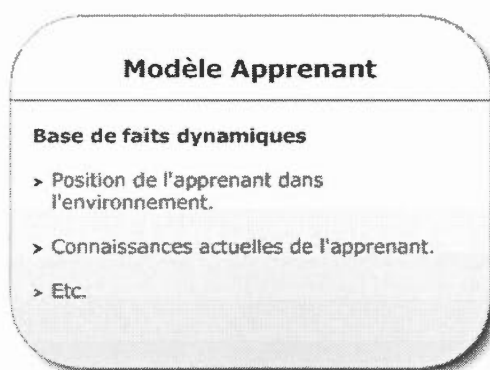


Figure 3.1: Modèle de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires.

Nous avons choisi le modèle de recouvrement (*Overlay*) (Carr et Goldstein, 1977) pour la représentation des connaissances de l'apprenant dans notre système. Dans ce modèle, les connaissances de l'apprenant sont construites sur les éléments de connaissance de l'expert (ou éléments de connaissance du domaine considéré). Dans cette approche, les compétences indiquent clairement l'habileté de l'apprenant à utiliser ses connaissances. Cette méthode s'est avérée être un choix judicieux et adapté au contexte, car toutes les compétences à acquérir sont définies

de manière intrinsèque et sans ambiguïté par les connaissances du domaine. La figure 3.2 présente le modèle *Overlay*.

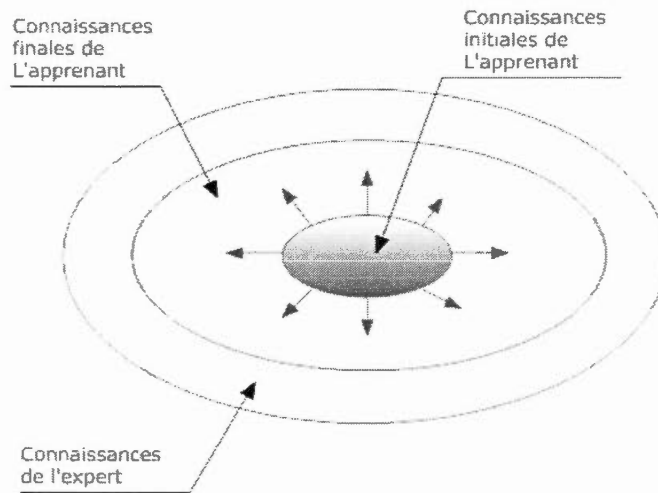


Figure 3.2: Représentation des connaissances de l'apprenant (modèle *Overlay*).

La mise à jour du modèle de l'apprenant repose sur :

- Les informations implicites tirées de la comparaison entre les décisions de l'apprenant et celles de l'expert.
- Les informations structurelles qui relèvent du réseau de dépendance et de complexité relative aux différentes compétences en jeu.
- Les informations explicites qui peuvent être obtenues grâce à des tests ou des questionnaires présentés à l'apprenant.
- Les croyances du système sur les connaissances de l'apprenant à la suite sa dernière interaction.

3.1.2 Modèle Tuteur

Le rôle du tuteur dans Prat'Sécuritaires est de guider l'apprenant et suivre son évolution grâce aux règles pédagogiques qu'il implémente. La stratégie pédagogique que nous avons utilisée est l'entraînement (*Coaching*). Le tuteur intervient dans la partie lorsque cela est nécessaire, et de manière contextuelle.

Le modèle tuteur de Prat'Sécuritaires est présenté dans la figure 3.3 ci-dessous.

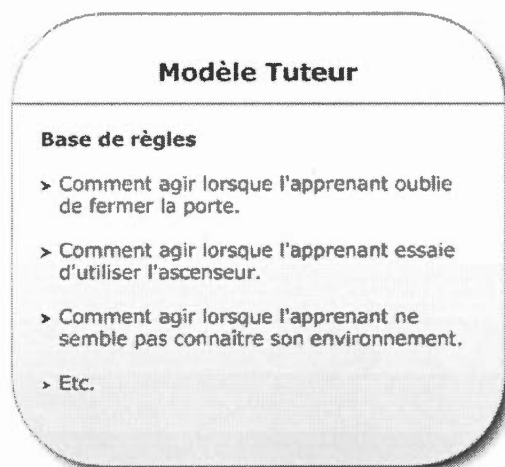


Figure 3.3: Modèle tuteur dans Prat'Sécuritaires.

Le tuteur suit les déplacements et les comportements de l'apprenant dans l'environnement du jeu et détermine s'il est opportun de l'interrompre, dépendamment du contexte. Il interroge également l'expert lorsque l'apprenant effectue des actions dans le jeu, afin de comparer les choix de ce dernier avec ceux décrits par l'expert. Le tuteur se base sur ces comparaisons pour assister l'apprenant. Il interagit d'autre part avec l'apprenant à travers des rétroactions (*feedbacks*), qui peuvent être positives ou négatives, et qui sont conçus en se basant sur les

stratégies de *feedbacks* décrite dans (Narciss, 2008). Une description détaillée de ces interactions est faite dans le Chapitre 4.

C'est suite aux évaluations faites sur l'apprentissage du joueur, et en collaboration avec l'expert, que le modèle de l'apprenant est mis à jour. Nous travaillons sur un développement du tuteur afin qu'il soit capable de mettre en œuvre des stratégies métacognitives. Qu'il puisse par exemple établir le diagnostic cognitif de l'apprenant afin d'augmenter le niveau de difficulté dans le jeu pour stimuler la réflexion chez l'apprenant, inférer sur l'acquisition ou non d'une compétence et déterminer l'étape suivante du processus d'apprentissage (ex., choisir le prochain niveau de jeu à présenter à l'apprenant).

Le suivi et les interventions du tuteur dans le jeu sont guidés par des modèles de graphes de tâches que nous avons conçu avec l'aide des experts du domaine de la prévention et de la sécurité. Un exemple de graphe de tâches est présenté sur la figure 3.6 :

3.1.3 Modèle Expert

L'expert définit les faits, les règles et les actions valides dans le contexte du jeu. Il décrit une représentation des connaissances à transmettre à l'apprenant. L'expert dans Prat'Sécuritaires a été conçu comme un système à base de règles de production (SBR) selon un modèle «Boîte de Verre» (*White Box*) qui est un modèle dans lequel les informations sont accessibles en lecture seulement.

Les connaissances du domaine sont encodées dans le modèle expert sous forme de faits et de règles de production, comme le présente la figure 3.4. L'expert est capable, par exemple, de déterminer les actions spécifiques à effectuer selon un scénario donné.

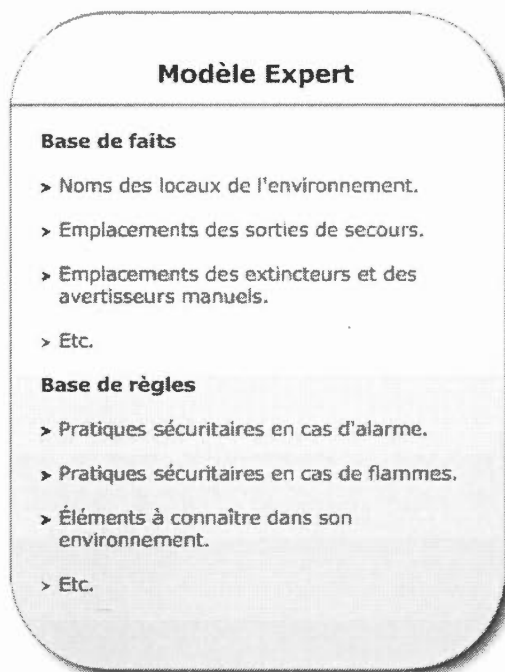


Figure 3.4: Le modèle expert dans Prat'Sécuritaires.

Le contenu du modèle expert du prototype de Prat'Sécuritaires a été construit avec l'aide des experts humains du domaine de la prévention et de la sécurité, que nous avons consulté tout au long de notre projet. Les détails concernant la collecte et la formalisation des connaissances des experts sont donnés à la Section 3.4.2. de ce document. L'implémentation de l'expert dans Prat'Sécuritaires décrit deux types de connaissances : les connaissances déclaratives et procédurales. Les connaissances déclaratives qui décrivent des faits, et les connaissances procédurales qui décrivent des procédures et sont encodées dans l'expert sous forme de règles de production.

3.1.4 Interface utilisateur

Les interfaces graphiques dans les jeux vidéos ont beaucoup évoluées et sont en général de très haute qualité et d'un grand réalisme. Il en est de même dans les jeux sérieux. Prat'Sécuritaires ne déroge pas à la règle et offre une interface qui suscitera de la curiosité chez l'apprenant et contribuera à enrichir son expérience de jeu. L'interface de notre prototype est une modélisation 3D du cinquième étage du pavillon Président-Kennedy (PK) du campus des sciences de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), auquel nous avons rajouté des éléments du jeu (éclairage, capteurs, extincteurs, téléphones, avertisseurs sonores, etc.), des éléments d'affichage classiques (temps, nom du joueur, nom du scénario de jeu, etc.), et des éléments de contrôle pour suspendre la partie, accéder à l'aide ou quitter la partie.

3.2 Architecture fonctionnelle

Après avoir présenté les composantes de Prat'Sécuritaires, il est important de comprendre les interactions entre elles ainsi que la manière dont le système les met à contribution pour implémenter les fonctionnalités du jeu. Dans cette section, nous présentons en première partie l'architecture interne de Prat'Sécuritaires et en deuxième partie son cycle de fonctionnement.

3.2.1 Architecture interne

Les quatres principaux modules (expert, tuteur, apprenant, interface utilisateur) implémentés par Prat'Sécuritaires ont été détaillés plus haut dans ce chapitre. La figure 3.5 présente un graphique qui illustre les interactions entre les différentes composantes du système.

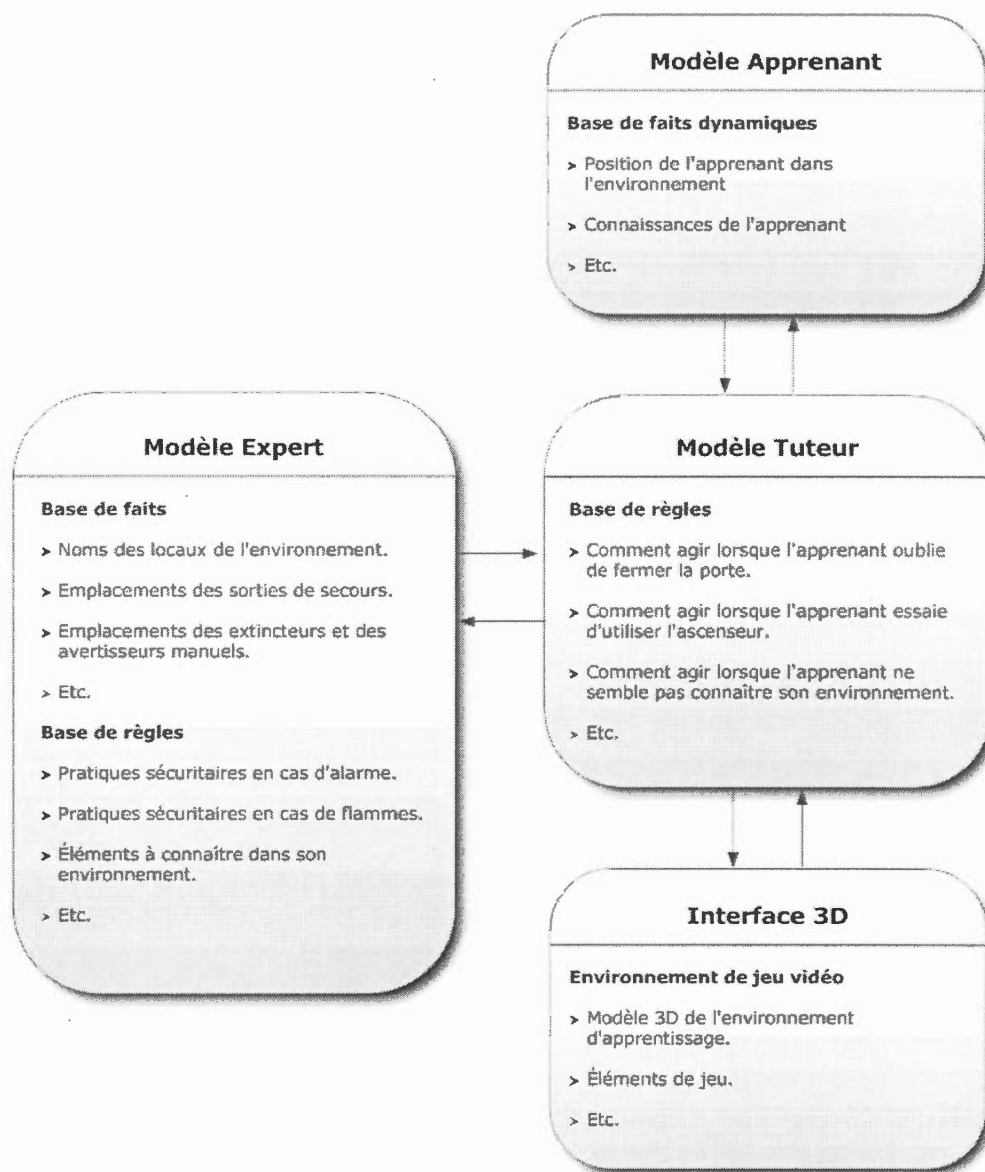


Figure 3.5: L'architecture interne de Prat'Sécuritaires.

3.2.2 Cycle de fonctionnement de Prat'Sécuritaires

Au moment de la rédaction de ce mémoire, toutes les fonctionnalités de Prat'Sécuritaires n'ont pas encore été implémentées. Le cycle de fonctionnement que nous présentons ici est celui que nous avons conçu pour le système dans son ensemble, c'est-à-dire qu'il s'applique à tous les scénarios définis pour la formation. Il est important de rappeler que Prat'Sécuritaires est conçu pour être un système générique capable de supporter et d'offrir des formations aux pratiques sécuritaires dans tous types de situation d'urgence (incendie, tremblement de terre, déversement de matières dangereuses, individu armé, etc.). Notre système doit offrir la possibilité d'y intégrer différents types d'environnements modélisés en 3D et d'y définir des scénarios d'apprentissage. Nous décrivons donc ici le déroulement global d'une session de jeu dans Prat'Sécuritaires. La session entière de formation se déroule dans l'environnement du jeu vidéo sur lequel l'apprenant peut agir, et à travers lequel le tuteur interagit avec ce dernier.

Lorsque l'apprenant lance le jeu, il est invité à sélectionner son profil : formateur ou usager ; ensuite il doit choisir son nom d'utilisateur dans la liste des apprenants du profil sélectionné et entrer son mot de passe. Si l'apprenant ne possède pas de nom d'utilisateur, il est invité à le créer ainsi qu'un mot de passe valide. Au tout premier accès à son compte, le système lui propose un questionnaire. Les réponses aux questions du questionnaire serviront à créer le modèle psychométrique qui servira à initialiser le modèle de l'apprenant, permettant au système d'établir un premier modèle cognitif qui donnera les informations de base pour le suivi personnalisé du joueur. Après avoir accédé à son compte, et passé le test d'entrée s'il s'agit d'un nouveau joueur, l'apprenant a le choix entre rentrer immédiatement dans la partie ou faire des activités de training. Les informations collectées dans le cadre des activités de training (ex., Statistiques sur les types

d'activités, les profiles d'utilisateurs, etc.) ne servent pas à mettre à jour le modèle de l'apprenant et pourront nous servir pour d'autres études. Lorsque l'apprenant choisi de rentrer dans la partie, il est invité à choisir une scénario parmi ceux disponibles dans l'environnement pour lequel la formation a été définie. Une fois le scénario de jeu choisi, le joueur peut commencer la partie sous la supervision du tuteur qui observe ses déplacements dans son environnement et son comportement (ex., Fait-il des allers-retours ? A-t-il sollicité de l'aide ? Pourquoi trouver une sortie lui prend-il autant de temps ? Manifeste-t-il de l'hésitation à effectuer certaines actions ?), note chacune de ses actions (ex., A-t-il fermé la porte derrière lui ? A-t-il déclenché l'alarme ?) et lui donne des *feedbacks* positifs ou négatifs lorsque cela s'avère pertinent pour le scénario de jeu (ex., Dois-je l'interpeller par rapport au fait qu'il n'a pas fermé la porte derrière lui ? Dois-je le féliciter d'avoir déclenché l'alarme ?).

Chaque interaction du joueur dans son environnement ou avec le tuteur, dans le cas où il sollicite de l'aide par exemple, est prise en compte par le système et les informations qui en découlent sont utilisées pour mettre à jour le modèle de l'apprenant au fur et à mesure qu'il évolue dans le jeu. Le tuteur sollicite l'expert pour déterminer si les actions effectuées par l'apprenant dans le jeu sont pertinentes pour le scénario courant, et fait un *feedback* au joueur si nécessaire. Sinon il lui fera un compte rendu de ses bonnes actions en fin de partie, et le cas échéant lui donnera les raisons de l'importance d'effectuer lesdites actions. En fin de partie également, le modèle de l'apprenant lui est présenté ainsi qu'un classement lui permettant de voir à quel niveau il se situe par rapport aux autres apprenants ayant le même profil utilisateur.

La figure 3.6 illustre de manière simplifiée le déroulement d'une session de jeu dans Prat'Sécuritaires. Il s'agit d'un diagramme d'activités qui est un diagramme

UML¹ qui permet de donner un aperçu global des actions effectuées dans un cas d'utilisation du système.

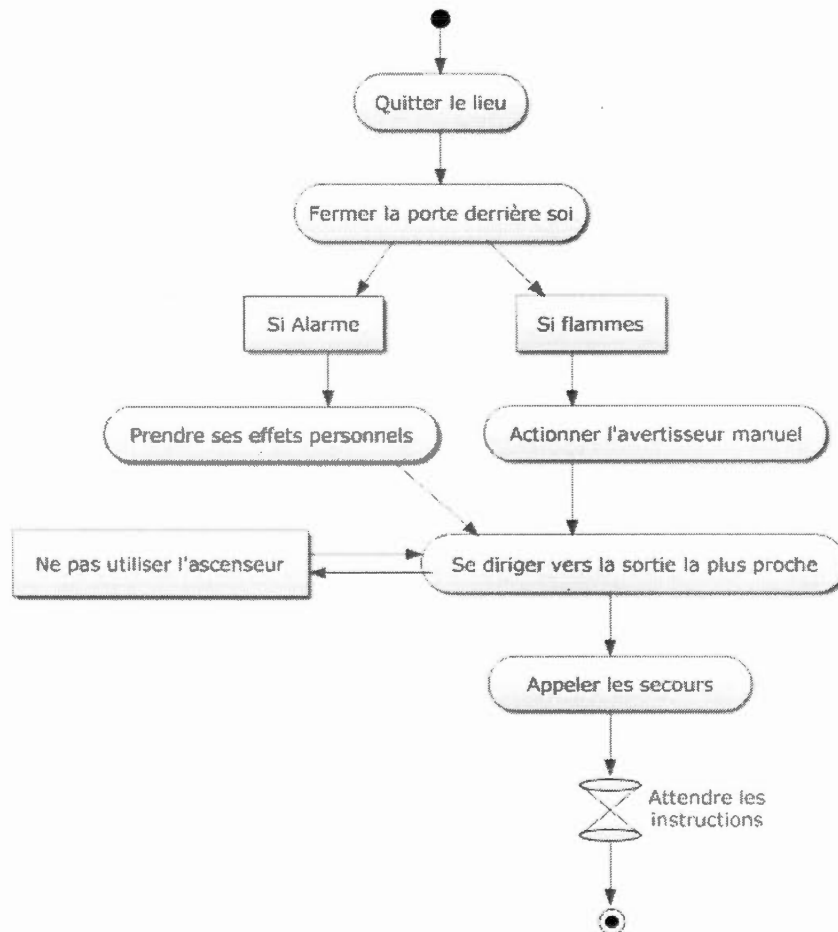


Figure 3.6: Exemple de graphe de tâches dans Prat'Sécuritaires.

1. <http://www.uml.org>

3.3 Éléments conceptuels

Après avoir présenté l'architecture interne de Prat'Sécuritaires ainsi que son cycle de fonctionnement, dans cette section nous présentons les éléments conceptuels ayant aidé à implémenter les fonctionnalités du système.

3.3.1 Modélisation du domaine

Prat'Sécuritaires est un système à base de connaissances (SBC). Aussi, l'une des étapes préliminaires importante de la phase de conception du projet a été de mettre en œuvre un processus d'ingénierie des connaissances qui nous a permis, avec l'aide des experts, d'identifier, de conceptualiser et d'encoder les connaissances du domaine de la prévention et de la sécurité. En effet la solution que nous proposons est une première à la fois par rapport aux jeux sérieux et par rapport à l'ingénierie des connaissances appliquée aux pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Par conséquent nous travaillons avec acharnement, et en collaboration avec les experts, à une formalisation des connaissances qui soit la plus exhaustive possible, fiable et réutilisable par d'autres systèmes à base de connaissances. La méthodologie que nous avons mis en œuvre dans le processus d'élicitation des connaissances du domaine exploités par Prat'Sécuritaires est détaillé dans la Section 3.4.2 du présent chapitre.

Le prototype de Prat'Sécuritaires que nous présentons dans ce mémoire implémente le processus d'apprentissage des pratiques sécuritaire lors d'une évacuation en situation d'incendie. Les connaissances que nous avons élicitées avec l'aide des experts ont été encodées à l'aide du langage de règles JESS² du moteur de raisonnement JESS (Java Expert System Shell). Ces connaissances sont décrites à

2. www.jessrules.com/jess/docs/

l'intérieur d'un fichier sous forme de faits et de règles. L'un des points intéressants à préciser est que les éléments de connaissances du domaines des pratiques sécuritaires sont identifiables de manière concise et sont valables pour toutes les situations d'urgence. Les experts que nous avons consulté ont établi de manière formelle que les scénarios à mettre en œuvre en situation d'urgence reposent sur deux cas de figure : l'évacuation ou le confinement. Et dans chacun de ces cas de figure nous avons identifié les éléments clés rentrant en ligne de compte, puis établi les liens probabilistes entre ces éléments. C'est sur la base de ces liens probabilistes que le tuteur construit les croyances du système sur les connaissances de l'apprenant ainsi que son niveau d'acquisition des compétences tout au long du processus d'apprentissage.

Le tuteur utilise le fichier encodant les connaissances de l'expert pour évaluer les actions de l'apprenant ou pour lui apporter de l'aide dans l'environnement de formation (environnement de jeu vidéo), dans certains cas lorsqu'il le sollicite et dans d'autres lorsque le tuteur juge que son comportement dans le jeu montre clairement qu'il a besoin d'assistance. Dans le cas par exemple où le joueur fait plusieurs allers-retours dans son environnement, le tuteur consulte l'expert pour trouver l'emplacement de la sortie la plus proche du dernier capteur que l'apprenant a activé dans le jeu pour aider ce dernier à réussir son évacuation.

Au delà des relations probabilistes établies entre les éléments de connaissance que nous avons identifiés, nous travaillons avec les experts sur la définition des liens sémantiques entre les concepts en jeu dans la mise en œuvre des pratiques sécuritaires en situations d'urgence afin de construire une ontologie du domaine qui, si l'on y parvient, sera d'une grande valeur scientifique pour la recherche dans le domaine.

3.3.2 Modélisation de l'apprenant

Après la modélisation du domaine d'application, nous présentons ici la modélisation de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires. En nous basant sur la littérature, nous avons le choix entre plusieurs méthodes de modélisation de l'apprenant dans un STI : réseaux sémantiques, banque de connaissances de l'expert, réseaux bayésiens, etc. Les ressources disponibles, le temps dont nous disposons pour produire le prototype, et les contraintes propres à l'outil que nous développons nous ont orienté vers le choix d'un réseau bayésien pour modéliser les connaissances et les compétences de l'apprenant même si l'une des grandes difficultés attendues était l'absence de banque de données que nous pouvions exploiter pour construire la structure du réseau. Grâce à un travail méthodique et à l'aide des experts nous sommes parvenu à créer une structure de réseau fiable que nous avons implémentée dans notre prototype, et que nous présentons dans la suite, après avoir défini ce qu'est un réseau bayésien.

3.3.2.1 Les réseaux bayésiens pour la modélisation de l'apprenant

Prat'Sécuritaires est un système qui doit être capable d'adapter le processus d'apprentissage à chaque apprenant. Rendre possible cette adaptabilité requiert un modèle du domaine d'une part, et un modèle apprenant pour chaque joueur d'autre part, afin d'offrir un soutien personnalisé (Le et Pinkwart, 2015). L'un des problèmes que l'on rencontre lors de la modélisation de l'apprenant est l'incertitude dans les croyances que le système a des connaissances de l'apprenant, et les sources d'incertitude sont nombreuses. En effet un apprenant peut commettre une erreur au courant du processus de résolution d'un problème pourtant il possède les connaissances et les compétences pour réussir, ou encore parvenir à construire un schéma valide de résolution de manière tout à fait hasardeuse

(D Baker *et al.*, 2008). Notre choix d'utiliser les réseaux bayésiens pour modéliser l'apprenant devient alors judicieux, puisqu'ils offrent des mécanismes permettant de gérer l'incertitude (Woolf, 2010).

Un réseau bayésien est un graphe orienté dans lequel chaque nœud est annoté avec des informations quantitatives de probabilité, et dont la spécification est la suivante (Russell et Norvig, 2010) :

1. Chaque nœud correspond à une variable aléatoire qui peut être discrète ou continue.
2. Les paires de nœuds sont connectées par un ensemble de liens orientés. Un nœud X est dit parent d'un nœud Y s'il existe un lien orienté partant du nœud X vers le nœud Y . Le graphe décrit par le réseau bayésien est direct et acyclique (ne contient pas de cycles orientés).
3. Chaque nœud X_i possède une distribution de probabilités $P(X_i | Parents(X_i))$ qui quantifie l'effet des parents sur le nœud. Pour les variables discrètes, cette distribution de probabilités est représentée par une table.

La construction d'un réseau bayésien se fait généralement en trois étapes (Le et Pinkwart, 2015) :

1. Définir la structure du réseau bayésien (sa topologie).
2. Initialiser les valeurs des nœuds du réseau avec une estimation des connaissances et des compétences de l'apprenant. Cette étape influence grandement la manière dont le réseau est mis à jour pour refléter la progression de ce dernier.
3. Mettre à jour les probabilités dans le réseau bayésien en utilisant les informations tirées des interactions entre l'apprenant et le système.

La mise en œuvre de ces trois étapes peut se faire suivant trois méthodes :

- *A partir des connaissances du domaine ou des données existantes sur le domaine.* La tâche consiste à correctement identifier les objectifs de la modélisation (prédiction, explication ou exploration), identifier toutes les observations pertinentes pour le problème, déterminer lesquelles de ses observations seront représentées dans le modèle, définir à partir de ces observations, des variables ayant des états finis et mutuellement exclusifs, puis déterminer la distribution de probabilité pertinente pour le modèle (Heckerman, 2008).
- *En sollicitant la collaboration des experts du domaine.* Il s'agit de se fier aux experts du domaine pour accomplir les tâches listées au point précédent. Seulement, s'appuyer sur le jugement d'experts est coûteux et peut être sujet à l'erreur, car il est difficile pour un humain de se fier à son intuition pour définir des dépendances probabilistes réalistes entre des concepts. (Conati, 2010)
- *Une combinaison des deux premières méthodes.*

La modélisation de l'apprenant à l'aide d'un réseau bayésien consiste donc en un ensemble de nœuds représentant les variables associées au processus d'apprentissage (connaissance, compétence, évidence, etc.), et d'arcs représentant les relations entre ces nœuds qui peuvent être de deux types (Le et Pinkwart, 2015) :

1. Relation entre une compétence et une unité de connaissance ;
2. Relation entre une unité de connaissance et un nœud d'évidence.

Les nœuds d'évidence sont ceux qu'on appelle des événements d'apprentissage et représentent les nœuds observables du réseau. Dans Prat'Sécuritaires par exemple, les nœuds observables caractérisent les actions que l'apprenant peut effectuer dans l'environnement de jeu vidéo. La figure 3.7 (Le et Pinkwart, 2015)

donne un exemple de réseau bayésien illustrant les deux types de relations énoncés dans le paragraphe précédent.

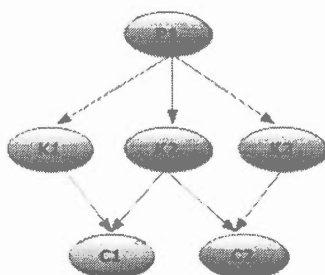


Figure 3.7: Exemple de réseau bayésien.

Les relations de causalité entre les nœuds du réseau bayésien ci-dessus peuvent être interprétées comme suit : Si le problème P est résolu, l'apprenant a probablement acquis les connaissances $K1$, $K2$ et $K3$. Si les connaissances $K1$ et $K2$ ont été acquises, l'apprenant possède probablement la compétence $C1$. Si les connaissances $K2$ et $K3$ ont été acquises, l'apprenant possède probablement la compétence $C2$.

Considérons les nœuds suivant d'un réseau bayésien : un problème P , une connaissance K et une compétence C . La relation entre deux nœuds quelconques du réseau peut être exploitée dans les deux sens (Brusilovsky et Millán, 2007) :

- Le sens causal, $(K \rightarrow P)$ ou $(K \rightarrow C)$;
- Le sens du diagnostic, $(P \rightarrow K)$ ou $(C \rightarrow K)$.

Ce qui conduit à l'interprétation suivante dans le cas de modélisation de la relation entre une compétence et une connaissance (Le et Pinkwart, 2015) :

- $(K \rightarrow C)$: posséder la connaissance K indique la possibilité de posséder la compétence C ;

- $(C \rightarrow K)$: posséder la compétence C signifie posséder la connaissance associée K . Ici, le nœud K peut être utilisé pour évaluer l'approche de résolution de l'apprenant.

Exemple de problème

Considérons la situation suivante, tirée d'un des scénarios implémentés par le prototype de Prat'Sécuritaires : Supposons que nous sommes membre du personnel d'un programme de formation des étudiants à l'apprentissage des pratiques sécuritaires en situation d'urgence. A la suite d'un exercice de simulation de l'évacuation d'un bâtiment, nous voulons savoir quelle est la probabilité qu'un des participants maîtrise les pratiques sécuritaires spécifiques au cas de présence de flammes sachant que ce dernier est capable de s'échapper de façon sécuritaires en présence de flammes et qu'au cours de l'exercice il a fermé la porte en quittant la salle dans laquelle il se trouvait après avoir collecté quelques effets personnels. Cette situation est décrite par le réseau illustré à la figure 3.8 ci-dessous.

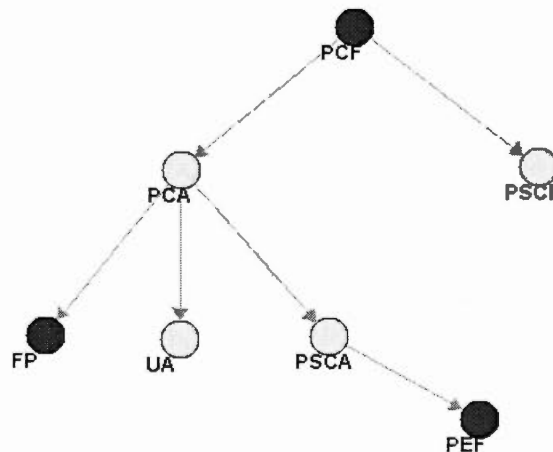


Figure 3.8: Exemple de réseau bayésien extrait du modèle de Prat'Sécuritaires.

Les abréviations utilisées pour simplifier l'illustration du modèle de l'exemple de la figure 3.8 sont définies dans la table 3.1 ci-dessous. Ces abréviations ont été faites essentiellement dans le but de simplifier la lecture du réseau bayésien et simplifier l'écriture des probabilités.

Tableau 3.1: Table d'abréviations pour l'exemple de problème.

Abréviation	Description
PCF	Pratiques sécuritaires en cas de flammes.
PCA	Pratiques sécuritaires en cas d'alarme.
PSCF	Pratiques sécuritaires spécifiques au cas de flammes.
FP	Fermer la porte.
PSCA	Pratiques sécuritaires spécifiques au cas d'alarme.
UA	Essayer d'utiliser un ascenseur.
PEF	Prendre des effets personnels.

En général, un participant qui maîtrise les pratiques sécuritaires en cas de flammes, maîtrise les pratiques en cas d'alarme uniquement, ainsi que les pratiques spécifiques au cas de présence de flammes uniquement. Par ailleurs, le fait qu'un participant ferme la porte derrière lui en quittant la salle où il se trouvait au moment du déclenchement de l'alarme incendie, et ce après avoir collecté quelques effets personnels, veut souvent dire qu'il connaît les pratiques sécuritaires spécifiques au cas d'alarme uniquement (absence de flammes).

La table 3.2 présente la distribution de probabilités pour les différents nœuds du réseau bayésien de l'exemple. Elle spécifie les probabilités des événements conditionnels et leurs complémentaires. Le complémentaire d'un événement E , noté E^C , est l'évènement qui se réalise si et seulement si E ne se réalise pas.

Tableau 3.2: Table de probabilités pour l'exemple de problème.

1	$\mathbf{P}(PCF)$	0.5	0.5
2	$\mathbf{P}(PCA \mid PCF)$	0.5	0.5
3	$\mathbf{P}(PCA \mid PCF^C)$	0.5	0.5
4	$\mathbf{P}(PSCF \mid PCF)$	0.9	0.1
5	$\mathbf{P}(PSCF \mid PCF^C)$	0.4	0.6
6	$\mathbf{P}(FP \mid PCA)$	0.9	0.1
7	$\mathbf{P}(FP \mid PCA^C)$	0.4	0.6
8	$\mathbf{P}(UA \mid PCA)$	0.8	0.2
9	$\mathbf{P}(UA \mid PCA^C)$	0.4	0.6
10	$\mathbf{P}(PSCA \mid PCA)$	0.9	0.1
11	$\mathbf{P}(PSCA \mid PCA^C)$	0.4	0.6
12	$\mathbf{P}(PEF \mid PSCA)$	0.8	0.2
13	$\mathbf{P}(PEF \mid PSCA^C)$	0.6	0.4

La distribution de probabilités présentée dans la table 3.2 a été construite avec l'aide des experts du domaine-problème que nous avons consulté pour notre projet. Elle est utilisée pour initialiser le réseau bayésien dans le prototype de Prat'Sécuritaires.

La lecture de la table 3.2 est simple. La cinquième ligne de la table pourrait être interprétée comme suit :

- La probabilité que l'apprenant connaisse les pratiques sécuritaires spécifiques au cas de flammes uniquement, alors qu'il ne connaît pas les pratiques sécuritaires en cas de flammes en général, est estimée à 0.4.

- La probabilité que l'apprenant ne connaisse pas les pratiques sécuritaires spécifiques au cas de flammes uniquement, alors qu'il ne connaît pas les pratiques sécuritaires en cas de flammes en général, est estimée à 0.6.

Cette distribution de probabilités sera mise à jour à chaque fois que la valeur des variables observables du réseau bayésien seront modifiées, ce qui se produit dans Prat'Sécuritaires chaque fois que le joueur fait une action au cours du déroulement de la partie (ex., déclencher l'alarme incendie) ou lorsque le tuteur observe chez l'apprenant un comportement qu'il estime utile de consigner (ex., le fait que le joueur fasse plusieurs allers-retours dans l'environnement de jeu).

La structure graphique et probabiliste d'un réseau bayésien représente une distribution de probabilité conjointe unique. Cette distribution est obtenue grâce à la formule suivante :

$$\mathbf{P}(X_1 \dots X_n) = \prod_{i=1}^n \mathbf{P}(X_i \mid \text{Parents}(X_i))$$

Cette formule nous permet de compléter notre définition formelle de ce qu'est un réseau bayésien.

Après avoir défini ce qu'est un réseau bayésien et décrit comment le construire, nous allons nous intéresser à la manière dont l'apprenant est modélisé dans Prat'Sécuritaires à l'aide des réseaux bayésiens.

3.3.2.2 Modélisation de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires

Dans la représentation que nous avons faite de l'apprenant dans Prat'Sécuritaires à l'aide d'un réseau bayésien, nous avons modélisé à la fois les connaissances et les compétences. Le réseau que nous avons développé possède trois types de nœuds : les nœuds de compétence, les nœuds de connaissance et les nœuds

contenant les évidences (variables observables). Les nœuds de connaissances et de compétences sont les nœuds internes du réseau, ils représentent les nœuds sur lesquels le système fait des inférences et possèdent une probabilité continue comprise entre 0 et 1. Les nœuds contenant les évidences sont les nœuds situés au niveau le plus bas, ils représentent le résultat de l'observation des actions de l'apprenant dans le jeu et sont représentés par une variable booléenne prenant la valeur 1 si l'action a été observé, et 0 sinon.

Comme présenté à la Section 3.1.1, nous avons choisi le modèle de recouvrement (*Overlay*) des connaissances du domaine pour représenter les connaissances de l'apprenant, car le modèle du domaine et le modèle de l'apprenant sont étroitement liés en ce sens qu'une modélisation du domaine fournit un cadre pour représenter et mesurer les connaissances et les compétences de l'apprenant dans le domaine (Le et Pinkwart, 2015). Dans le modèle *Overlay*, le modèle apprenant stocke, pour chacun des concepts du domaine, les données qui représentent une estimation des connaissances et des compétences que l'apprenant possède de ce concept (Woolf, 2010).

Dans le prototype de Prat'Sécuritaires qui a été développé pour ce travail, nous avons implémenté un seul concept qui est celui de l'évacuation en situation d'incendie. Ce concept représente par ailleurs la compétences globale à développer au cours de l'apprentissage et constitue le nœud racine du réseau bayésien modélisant l'apprenant. Parmi les variables internes nous avons :

Les compétences

- **echapper-cas-alarme**. L'apprenant a les compétences requises pour procéder à une évacuation sécuritaire en cas d'alarme incendie (absence de flammes).
- **echaper-cas-flammes**. L'apprenant a les compétences requises pour procéder

à une évacuation sécuritaire en cas de flammes.

- **cognition-spatiale-allocentrique**. L'apprenant possède une bonne cognition spatiale allocentrique.

Les connaissances

- **connaitre-environnement**. L'apprenant a une bonne connaissance de son environnement.
- **pratiques-cas-alarme**. L'apprenant a une bonne connaissance des pratiques sécuritaires en cas d'alarme incendie (absence de flammes).
- **pratiques-specifiques-cas-alarme**. L'apprenant a une bonne connaissance des pratiques sécuritaires spécifiques au cas d'alarme incendie (absence de flammes).
- **pratiques-specifiques-cas-flammes**. L'apprenant a une bonne connaissance des pratiques sécuritaires spécifiques au cas de flammes.
- **pratiques-cas-flammes**. L'apprenant a une bonne connaissance des pratiques sécuritaires en cas de flammes.

Et enfin les nœuds au niveau le plus bas, représentant les variables observables :

Les évidences

- **consulter-aide-orientation-spatiale**. L'apprenant a sollicité de l'aide pour l'orientation spatiale.
- **temps-ecoule**. Temps mis par l'apprenant pour effectuer l'activité. Il s'agit d'une variable continue. Dans notre prototype de Prat'Sécuritaires, le temps écoulé a été discrétisée sous les formes (<30 Secondes) et (>30 Secondes).

- trouver-sortie-la-plus-proche. L'apprenant a trouvé la sortie la plus proche de son point de départ.
- trouver-sortie. L'apprenant a trouvé une sortie proche de son point de départ.
- faire-allers-retours. L'apprenant fait des allers-retours dans son environnement.
- fermer-porte. L'apprenant a fermé la porte en quittant les lieux.
- utiliser-ascenseur. L'apprenant a essayé d'utiliser un ascenseur.
- prendre-effets-personnels. L'apprenant a pris ses effets personnels en quittant les lieux.
- actionner-avertisseur. L'apprenant a actionné l'avertisseur manuel.
- signaler-incident. L'apprenant a appelé les secours.
- avertisseur-declenche-en-securite. L'apprenant s'est mis hors de danger avant d'actionner l'avertisseur manuel.
- incident-signe-en-securite. L'apprenant s'est mis hors de danger avant d'appeler les secours.

L'une des difficultés importantes que nous avons rencontré dans cette phase de modélisation de l'apprenant à l'aide d'un réseau bayésien, a été d'effectuer le diagnostic initial des connaissances de l'apprenant afin d'initialiser son modèle lorsque son profil utilisateur est créé dans le système. Nous discutons en détail de ces difficultés dans la section 4.4.5.

3.3.3 Règles tutorielles

Dans les systèmes tutoriels intelligents, le tuteur joue un rôle très important. Il supervise, oriente et évalue l'apprenant tout au long du processus d'apprentis-

sage. C'est la composante des STI qui implémente l'adaptabilité du système en offrant la possibilité d'encadrer chaque apprenant de manière personnalisée à travers des interactions soigneusement élaborées.

Dans Prat'Sécuritaires, les interactions entre le tuteur et l'apprenant se font selon une approche de *Coaching*, qui est une méthode d'enseignement dans laquelle le tuteur et l'apprenant collaborent à la construction de solutions (Van-Lehn, 1996). Dans cette méthode, l'interaction apprenant-tuteur s'ajuste en fonction des progrès de l'apprenant (Conati *et al.*, 1997). Dans notre STI de type jeu sérieux, le tuteur observe les actions de l'apprenant et lui donne occasionnellement des *feedbacks* positifs pour l'encourager à performer dans le jeu. Dans le cas où le tuteur observe chez l'apprenant un comportement laissant croire qu'il-elle a besoin d'aide, il intervient et lui fournit des indices pour le-la remettre sur la bonne voie. Lorsque l'apprenant effectue une action incorrecte, le tuteur l'interpelle également avec un *feedback* lui expliquant par ailleurs pourquoi l'action en question n'est pas recommandée. La stratégie de *feedback* est essentielle dans un contexte éducatif pour la raison qu'elle a un impact majeur sur le processus d'apprentissage (Shute, 2008). En effet l'application d'une mauvaise stratégie de *feedback* pourrait affecter l'expérience de jeu de l'apprenant de manière négative (frustration, découragement, etc.), et peut-être définitivement. La qualité de l'interaction apprenant-tuteur, et donc sa capacité à améliorer l'apprentissage de manière significative, en modifiant le raisonnement et le comportement de l'apprenant, est assurée par l'aptitude du tuteur à diagnostiquer avec précision les besoins de l'apprenant (Narciss, 2008). Le système doit par conséquent offrir un mécanisme de diagnostic cognitif qui permettra d'identifier les lacunes de l'apprenant. Nous travaillons encore à l'élaboration d'un tel mécanisme dans Prat'Sécuritaires, eût égard aux difficultés que nous avons rencontrées dans la phase d'initialisation du modèle apprenant, et qui sont décrites à la section 4.4.5.

Pour être capable de remplir efficacement ses fonctions, le comportement du tuteur doit se baser sur des règles tutorielles induites par le travail d'élicitation des connaissances fait avec la collaboration des experts. En appliquant la méthodologie d'ingénierie des connaissances décrite dans la section suivante, nous avons induit des connaissances élicitées un certain nombre de règles de base que nous avons validé avec les experts. Les règles présentées dans la suite se réfèrent à la situation d'incendie que le prototype de Prat'Sécuritaires implémente ; La base de règles se construira au fur et à mesure que nous allons intégrer la prise en charge des autres situations d'urgence dans le système. Aussi, dans notre prototype nous avons les règles tutorielles suivantes décrivant l'interaction apprenant-tuteur :

1. *Si l'apprenant ne ferme pas la porte en quittant les lieux. Alors l'interpeller et lui rappeler pourquoi il est important de fermer la porte derrière soi en cas d'incendie.*
2. *Si l'apprenant ferme la porte en quittant les lieux. Alors lui afficher un message d'encouragement.*
3. *Si l'apprenant ne prend pas ses effets en quittant. Alors l'interpeller et lui rappeler pourquoi il est important de prendre ses effets en sortant (uniquement en l'absence de flammes, autrement ce serait prendre un risque important).*
4. *Si l'apprenant met trop de temps à trouver une sortie. Alors lui proposer de l'aide pour trouver une sortie proche.*
5. *Si l'apprenant fait des allers-retours. Alors l'interpeller et lui fournir des indices pour trouver une sortie proche.*
6. *Si l'apprenant sollicite trop souvent de l'aide. Alors l'interpeller et lui proposer par exemple de suspendre temporairement la partie pour aller suivre des activités de training.*

7. *Si* l'apprenant essaye de prendre l'ascenseur. *Alors* l'interpeller et lui rappeler pourquoi il ne doit pas recommander de prendre l'ascenseur.
8. *Si* l'apprenant semble avoir oublié d'actionner l'avertisseur manuel. *Alors* lui afficher un message de rappel.
9. *Si* l'apprenant appelle les secours sans s'être mis hors de danger. *Alors* l'interpeller et lui rappeler pourquoi il est important de se mettre à l'abri avant d'appeler les secours.
10. *Si* l'apprenant trouve une sortie proche. *Alors* le féliciter et lui expliquer que la sortie prise n'est pas la plus proche.
11. *Si* l'apprenant trouve la sortie la plus proche. *Alors* le féliciter et lui proposer un autre niveau de jeu.

L'implémentation de ces règles est décrite dans le chapitre suivant.

3.4 Méthodologie du projet

La démarche visant à démontrer une hypothèse dans le cadre d'une recherche appliquée, comme c'est le cas pour notre projet, nécessite une méthodologie stricte pour arriver à un résultat valide sur le plan scientifique. Aussi, nous présentons dans cette section les méthodologies mises en œuvre pour la gestion de notre projet d'une part, et d'autre part pour le processus d'ingénierie des connaissances suivi avec les experts du domaine de la prévention et de la sécurité.

3.4.1 Gestion du projet

Pour l'organisation, la planification et le suivi de notre projet nous avons utilisé la méthodologie agile (Schwaber, 1997). L'un des atouts de cette méthodologie est qu'elle offre une flexibilité qui permet d'intégrer facilement les changements. Ce

qui fait de cette approche un choix adapté pour un projet de recherche appliquée comme Prat'Sécuritaires dont les besoins et les spécifications techniques sont amenés à changer tout au long de son développement. Bien que les méthodologies agile soient en général conçues pour des équipes de développement (Fowler et Highsmith, 2001), elle peuvent être tout aussi indiquées pour un projet impliquant un seul développeur afin de mettre en place un schéma de développement discipliné, rigoureux et efficace qui servira de base, en l'occurrence, pour le développement futur de Prat'Sécuritaires. Car au delà du travail fait dans le cadre de notre projet de maîtrise, la mise sur pieds d'une équipe de développement sera nécessaire pour porter le projet vers notre objectif final, à savoir une plateforme générique. Plus de précision sur la vision finale que nous avons de Prat'Sécuritaires est donnée au dernier chapitre.

Plus spécifiquement, nous avons utilisé SCRUM³ qui est une méthode de gestion de projet utilisée notamment dans le génie logiciel. En effet, SCRUM utilise une approche non prédictive fondée sur la conviction que les étapes de développement d'un projet complexe ne peuvent pas être définies et planifiées à l'avance. La méthodologie SCRUM repose sur trois piliers (Schwaber et Sutherland, 2011) :

1. *La transparence*

Tous les observateurs du projet doivent partager la même vue sur les aspects importants du processus.

2. *L'inspection*

Faire fréquemment le point sur les artefacts du produit afin de détecter les variations indésirables.

3. *L'adaptation*

3. <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>

Réajuster le produit si des variations indésirables ont été détectées à l'étape d'inspection.

La méthodologie SCRUM s'appuie sur le découpage des projets en itérations appelées «*Sprints*», dont le cycle de vie varie en général entre deux et quatre semaines. Les différentes étapes de mise en œuvre d'un *Sprint* sont les suivantes :

1. *Initialisation du Sprint*

Choisir un ensemble de cas d'utilisation à réaliser dans le *Sprint* et attribuer une priorité à chacun de ces cas d'utilisation. Cet ensemble est appelé le «*Sprint Backlog*». Ensuite attribuer des niveaux de difficulté aux cas d'utilisation et les décomposer en tâches.

2. *Réalisation du Sprint*

Développer et tester les fonctionnalités définies par les cas d'utilisation choisis à l'étape 1.

3. *Livraison et mise en production*

Les fonctionnalités développées définissent un produit livrable qui peut être passé, soit dans un nouveau *Sprint*, soit dans une phase de validation avant la mise en production.

La figure en appendice A, extraite de Scrum.org⁴, présente le cycle de vie d'un *Sprint* dans la méthodologie SCRUM.

Cette méthodologie nous a permis, notamment sur un plan technique, de gérer efficacement les changements que nous avons rencontrés au courant du développement du prototype de Prat'Sécuritaires.

4. <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>

3.4.2 Acquisition des connaissances

Prat'Sécuritaires est un système à base de règles (SBR). Dans un SBR, les règles sont induites à partir des connaissances du domaine considéré. Le problème majeur lors de la conception d'un SBR est de fournir les connaissances qui alimentent le système, ce qui revient dans notre cas à mettre en œuvre une méthodologie d'ingénierie des connaissances pour identifier, conceptualiser et encoder les connaissances du domaine de la prévention et de la sécurité. L'ingénierie des connaissances est une branche de l'ingénierie qui étudie le développement des systèmes à base de connaissances, et la notion de représentation des connaissances en est un concept fondamental (Paquette *et al.*, 1991).

Dans cette section nous décrivons la méthodologie que nous avons mise en œuvre pour l'acquisition des connaissances exploitées par Prat'Sécuritaires afin de nous assurer de reproduire au mieux le comportement de l'expert. Mais avant nous allons faire une brève présentation des experts que nous avons consultés et qui ont joué un rôle très important dans le processus de modélisation des connaissances du domaine de la prévention et de la sécurité dans le cadre du projet.

3.4.2.1 Les experts

Monsieur Marcus Morin est coordonnateur aux opérations au sein du service de la prévention et de la sécurité de l'UQAM. Ses champs d'expertise sont la coordination des opérations, l'intervention d'urgence et les services psychosociaux. Il est diplômé de l'École Polytechnique de Montréal, et a commencé sa carrière dans les Forces Canadiennes où il a servi pendant treize ans. Il a ensuite travaillé comme conseiller en planification des mesures d'urgence, puis au service psychosociaux et gestion de l'urgence au Collège Maisonneuve jusqu'en 2013, année à laquelle il a rejoint le service de la prévention et de la sécurité de l'UQAM.

Monsieur Jérémy Blain est technicien en prévention des incendies. Pompier de formation, il a travaillé pour la Municipalité Régionale de Comté d'Abitibi avant de rejoindre le service de la prévention et de la sécurité de l'UQAM.

Nos experts ont fait preuve d'un grand professionnalisme tout au long du processus de réalisation de notre prototype. Ils se sont rendus disponibles aussi souvent que nous avons eu besoin d'information, de conseil ou de leur validation. Nous avons pu, grâce à eux, observer la gestion de la simulation d'évacuation d'immeuble aussi bien du point de vue de l'utilisateur que depuis le centre de contrôle. Ils sont très enthousiastes à l'idée de poursuivre leur collaboration au développement de Prat'Sécuritaires.

3.4.2.2 Les techniques d'acquisition de la connaissance

Il existe plusieurs techniques utilisées pour acquérir, analyser et modéliser la connaissance (Hua, 2008; Byrd *et al.*, 1992). Les principales sont les suivantes :

- *Techniques par Génération de protocoles*

Ces techniques visent à produire un protocole, c'est à dire un enregistrement de comportements qui peut être audio, vidéo ou sur média électronique. Elles regroupent les entrevues (non structurées, semi-structurées et structurées), les commentaires (le protocole est produit en écoutant les commentaires de l'expert sur une tâche typique du domaine), le *teach back* (l'expert commente la description faite des connaissances acquises à la suite de chaque session, ou provenant de n'importe quelle autre source, afin d'y déceler des incompréhensions) et l'observation (suivre, observer l'expert et prendre des notes alors qu'il vaque à ses tâches quotidiennes).

- *Techniques par Analyse de protocole*

Utilisées avec des transcriptions d'entrevues ou autres informations tex-

tuelles, ces techniques permettent d'identifier divers types de connaissances, tel que les buts, les décisions, les relations et les attributs. Elles impliquent l'identification des éléments de base de la connaissance à l'intérieur même d'un protocole, qui en général est une transcription.

– *Techniques par Matrice*

Ces techniques utilisent des grilles dans lesquelles sont décrits les problèmes rencontrés ainsi que les solutions possibles. Elles impliquent parfois l'utilisation des cadres pour représenter les propriétés des concepts ainsi que La technique de grille de répertoire utilisée pour obtenir, évaluer, analyser et catégoriser les propriétés des concepts.

– *Techniques par Tri*

Les techniques de tri ont montré leur efficacité dans la compréhension de la manière dont les experts comparent et ordonnent les concepts. Elles peuvent fournir de précieuses information sur les classes, les propriétés et les priorités des concepts.

– *Techniques par Information et traitement de tâches limités*

Ces techniques représentent une manière rapide et efficace d'identifier les principales tâches et information utilisée, en limitant soit le temps, soit les informations à la disposition de l'expert au moment d'exécuter des tâches qui requièrent normalement bien plus de temps ou d'information.

– *Techniques par Diagramme*

Ces techniques permettent d'élucider les connaissances de l'expert par référence mutuelle à un diagramme. Les diagrammes utilisés sont des diagrammes de réseau tels que graphes de concepts, les diagrammes d'état transition et les graphes de processus.

Après avoir présenté les principales techniques d'acquisition de la connaissance, le paragraphe suivant présente l'approche que nous avons utilisée dans le

cadre de la mise en œuvre de notre projet, qui est extraite de (Paquette *et al.*, 1991) et propose une systématisation des opérations effectuées au cours du processus d'acquisition des connaissances, applique les méthodes reconnues à des exemples et identifie les outils appropriés à chaque tâche.

Au mieux de nos connaissances au moment de la rédaction de ce mémoire, les techniques d'acquisition des connaissances n'ont pas évolué de manière significative. D'autre part, le choix d'utilisation de l'approche décrite par (Paquette *et al.*, 1991), à savoir les techniques de génération de protocole (entrevues semi-structurées, commentaire, *teach back* et observation), s'est imposé comme la meilleure option lorsque nous nous référons à l'étude présentée par (Byrd *et al.*, 1992), et plus spécifiquement à la matrice *Technique d'éllicitation/Domaine problème* présentant la nature de la compréhension du domaine problème obtenu à partir de chacune des techniques d'acquisition des connaissances présentées plus haut dans cette section. Cette matrice est consultable à l'appendice B de ce mémoire.

3.4.2.3 Étapes de développement d'un SBC

La figure 3.9, tirée de (Paquette *et al.*, 1991), présente les étapes de développement d'un SBC en décrivant les différentes tâches du processus. La démarche de développement des SBC utilisée dans notre projet s'inspire de celle déjà éprouvée pour les systèmes informatiques conventionnels, avec la particularité dans les SBC que les connaissances (prises au sens large) occupent une place importante (Paquette *et al.*, 1991).

Une étape préalable au processus décrit dans la figure, et qui est très importante pour garantir la qualité des connaissances acquises, est l'identification des experts utiles. Concernant Prat'Sécuritaires qui est un système d'apprentissage

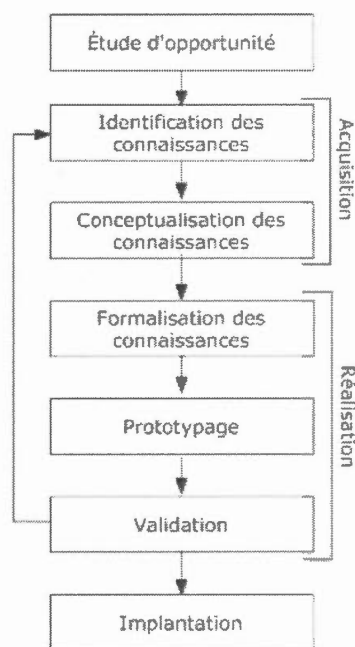


Figure 3.9: Étapes de développement d'un SBC.

des pratiques sécuritaires en situations d'urgences, il se trouve que nous avons à l'UQAM un service de la prévention et de la sécurité (SPS) doté d'experts hautement qualifiés du domaine de la sécurité publique qui n'ont pas hésité à rejoindre le projet et demeurent très enthousiastes par rapport à la valeur de notre outil et à sa capacité à répondre aux besoins énoncés au chapitre 0.

Voici une brève description des étapes de la figure.

1. *Étude d'opportunité*

Évaluer la capacité du SBC à résoudre le problème posé dans un domaine délimité.

2. *Identification des connaissances*

Définir les objectifs du SBC à développer et identifier les connaissances

nécessaires à leur réalisation.

3. *Acquisition des connaissances*

Mettre en œuvre une technique pour recueillir les connaissances nécessaires à la réalisation des objectifs identifiés à l'étape 2.

4. *Représentation des connaissances*

Construire une base formelle à partir des connaissances acquises.

5. *Prototypage*

Construire une version réduite du système, puis enrichir progressivement la base et les interactions avec l'utilisateur.

6. *Validation*

Vérifier l'efficacité du système à réaliser les objectifs pour lesquels il a été conçu. La validation se fait auprès des experts et des usagers du système.

7. *Implantation*

Déployer le système dans son environnement de fonctionnement et initier les usagers à son utilisation.

Les étapes 3, 4, 5 et 6 sont le plus souvent susceptibles de s'effectuer par phases cycliques successives afin de progressivement raffiner le modèle (Paquette *et al.*, 1991).

3.4.2.4 Induction des règles

Le SBR que nous développons est une première à la fois par rapport aux jeux sérieux et par rapport à l'ingénierie des connaissances appliquée aux pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Aussi, il n'existe aucun modèle sur la base duquel nous aurions pu partir pour construire les règles que nous avons implémentées dans Prat'Sécuritaires. Nous avons donc travaillé en collaboration avec les experts, à l'examen méticuleux de quelques cas particuliers pour créer

des règles à partir de données factuelles. Le procédé d'induction de règles que nous avons mis en œuvre présente un degré d'incertitude quant à ses résultats (Paquette *et al.*, 1991). Cette incertitude peut être considérablement réduite en appliquant de manière systématique les étapes suivantes :

- Identifier les objets caractéristiques du domaine étudié et faire un inventaire de leurs attributs.
- Construire un arbre de contraintes à l'aide des attributs répertoriés. Une contrainte est constituée d'un attribut et des attributs dont il dépend.
- Construire des exemples représentatif de cas particuliers à partir des valeurs possibles de chaque attribut.
- Induire pour chaque contrainte, un ensemble consistant, complet et efficace de règles en selon un processus de raffinement graduel.

En suivant de manière rigoureuse cette méthodologie, et en validant chacune des étapes avec les experts, nous avons construit de façon graduelle l'ensembles de règles utilisées dans le prototype de Prat'Sécuritaires.

3.4.2.5 Les techniques d'entrevue

La base de connaissances exploitée par le premier prototype de Prat'Sécuritaires a été construite grâce à une démarche soigneusement élaborée et menée de bout en bout avec la collaboration des experts. Cette démarche s'est faite conformément aux phases décrites dans la figure 3.10, tirée de (Paquette *et al.*, 1991), et selon les techniques que nous décrivons dans la suite.

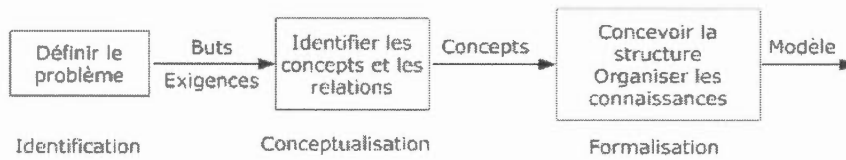


Figure 3.10: Phases d'acquisition des connaissances.

De toutes les techniques d'acquisition de connaissances existantes, nous avons choisi d'utiliser les techniques d'entrevue qui font partie des plus utilisées et qui peuvent être des techniques très efficaces si l'on met un grand soin à l'organisation du travail et à la planification du déroulement et du suivi des rencontres avec les experts (Paquette *et al.*, 1991). Dans la suite nous présentons les étapes par lesquelles passe une mise en œuvre efficace des techniques d'entrevue.

Tout d'abord l'étape de préparation de l'entrevue, qui est une étape très importante. Avant d'établir le premier contact avec l'expert, il est recommandé de faire une recherche documentaire dans le domaine étudié afin de collecter les informations disponibles et identifier les connaissances manquantes dont l'acquisition nécessite de consulter un expert. L'expert doit être informé des spécificités du projet (objectifs, contexte d'application et connaissances requises à son élaboration) et des attentes vis-à-vis de lui. Il faut également définir les termes de la collaboration avec l'expert et planifier le déroulement de chaque entrevue en fonction des objectifs à atteindre. Le problème à traiter peut être décomposé en sous-problèmes couvrant chacun un aspect du projet, et les entrevues dirigées à l'aide d'un questionnaire.

La deuxième étape est celle du déroulement de l'entrevue. Une fois le scénario établi et les dispositions prises concernant les besoins matériels de l'entrevue, on peut procéder au déroulement en appliquant l'une des techniques suggérées dans

la table 3.3, tirée de (Paquette *et al.*, 1991), tout en se centrant sur les connaissances de l'expert et la manière dont il les utilise.

Tableau 3.3: Quelques techniques d'entrevue.

Technique	Description
Observation	Examen de la manière dont l'expert résout des problèmes
Discussion	Exploration concernant les types de données, les concepts et les méthodes nécessaires à la solution d'un problème
Analyse	Présentation de problèmes concrets à l'expert et formulation du raisonnement pour les résoudre
Critique	Évaluation par l'expert d'un prototype de base des règles induites et du mécanisme d'inférence proposé
Validation	Vérification du système à l'aide des problèmes déjà analysés lors d'entrevues précédentes

Il est également important de prévoir des moyens d'archivage des entrevues et faire un bilan avec l'expert à la fin pour éliminer toute ambiguïté. Enfin planifier une autre rencontre si cela est nécessaire.

La dernière étape est celle de l'analyse de l'entrevue. Ici on fait un inventaire des connaissances invoquées de manière explicite ou non durant l'entrevue, pour ensuite les organiser et les structurer selon deux formalismes : Les éléments de savoir et les relations existantes entre eux ainsi que la manière dont l'expert utilise ces éléments. Il est recommandé de commencer à progressivement construire un dictionnaire des connaissances qui permet un suivi du développement du système. Il faudra enfin réaliser des schémas et/ou des diagrammes à partir de l'ensemble des connaissances inventoriées afin de mettre en évidence la structure et les liens entre chaque élément. Ces schémas seront ensuite utilisés pour l'écriture des règles.

Le résultat de l'analyse sera présenté à l'expert lors de l'entrevue suivante pour lui permettre comprendre le processus de décodage de ses connaissances et d'en apprécier la teneur.

Grâce à la mise en œuvre méthodique des techniques d'entrevue nous avons été capable d'obtenir des experts l'essentiels des données qui nous on permises de codifier la base de règles utilisées par notre prototype de système à base de connaissances.

Cette section marque la fin du chapitre 3. Dans le chapitre 4, nous présentons les détails d'implémentation des composantes de Prat'Sécuritaires.

CHAPITRE IV

IMPLÉMENTATION DE PRAT'SÉCURITAIRES

Ce chapitre présente l'aspect purement technique du développement de Prat'Sécuritaires. Il s'agit des détails de l'implémentation de l'architecture fonctionnelle présentée au chapitre précédent. Nous exposons ici les choix techniques pour le développement avec leurs justifications, les principaux algorithmes de fonctionnement du système, les difficultés techniques rencontrées ainsi que les résultats d'implémentation. Dans la dernière partie nous présentons l'interface générique du système qui permettrait d'intégrer divers environnements 3D dans Prat'Sécuritaires et de définir les scénarios d'apprentissage.

4.1 Choix techniques d'implémentation

Dans cette section nous présentons les choix techniques et quelques détails d'implémentation des fonctionnalités de Prat'Sécuritaires ainsi que les résultats obtenus.

4.1.1 SketchUp pour la modélisation de l'environnement de test

L'environnement de test du prototype que nous avons réalisé est une modélisation du cinquième étage du pavillon Président-Kennedy (PK) de l'Université du

Québec à Montréal (UQAM). Il a été conçu grâce à l'outil de modélisation 3D SketchUp¹ rachetée en 2012 à Google par la société Trimble².

Le choix de SketchUp pour notre projet a été motivé par les raisons suivantes :

- C'est une application puissante et intuitive.
- Elle offre une prise en main facile.
- Une version gratuite est disponible (proposant encore toutes les fonctionnalités utiles pour notre projet, même au delà des 30 jours d'essai!).
- Elle offre la possibilité d'exporter les modèles dans la plupart des formats utilisés dans les environnements de développement de jeux vidéos (ex., FBX, DAE).

4.1.2 Unity3D pour l'interface (environnement de jeu 3D)

Le logiciel Unity3D, dans lequel nous avons importé l'environnement 3D, a été utilisé pour implémenter le système. Unity3D a été développé par la société Unity Technologies³. C'est l'un des plus puissants moteurs de développement de jeux 2D et 3D multi-plateforme.

Le choix de Unity3D pour notre projet a été motivé par les raisons suivantes :

- L'application est puissante et flexible.

1. www.sketchup.com

2. www.trimble.com

3. <https://unity3d.com>

- Elle permet le développement rapide d’applications orientés environnement virtuel.
- Elle offre le déploiement multi-plateforme en un click (ex., Windows, Mac, Samsung, iOS, PlayStation, XBox, etc.).
- Elle possède une très bonne documentation.
- Elle offre des services intégrés pour optimiser le processus de développement et optimiser le jeu créé.
- La communauté autour est très active et en perpétuelle croissance.
- Une version gratuite est disponible et offre les fonctionnalités utiles pour le développement de notre prototype.
- Les langages de programmation utilisés pour créer le jeu sont JavaScript et C#.

4.1.3 JESS pour les règles

JESS (Java Expert System Shell) est un système de gestion de règles inspiré du langage CLIPS⁴ de règles de production en intelligence artificielle, et basé sur l’algorithme RETE⁵. JESS est une API (Interface de Programmation d’Applications) entièrement développée en Java pour la création des systèmes experts à base de règles. Nous l’utilisons pour définir les faits et les règles sur la base desquels le raisonnement se fait dans notre système.

Prat’Sécuritaires est une première dans le domaine des STIs de type jeu sérieux. Au mieux de nos connaissances, il n’existe au moment de la mise en œuvre de ce projet, aucun système développé sous Unity3D qui utilise la bibliothèque

4. <http://clipsrules.sourceforge.net>

5. <http://www.jessrules.com/docs/71/rete.html>

JESS. Nous avons trouvé, après des heures acharnées de travail, le moyen de rendre le moteur de raisonnement JESS exploitable à partir de Unity3D. Voici un résumé des étapes à suivre :

- Télécharger JESS.
- Extraire les dossiers compressés.
- Créer un nouveau projet dans un IDE et copier les dossiers décompressés dans le répertoire du projet contenant les fichiers source.
- «*Builder*» le projet et récupérer le fichier JAR dans le répertoire */dist* du projet.
- Convertir le fichier JAR en DLL à l'aide d'un outil adapté (ex., IKMV⁶)
- Importer le fichier DLL créé dans Unity3D.

Les étapes décrites ci-dessus peuvent sembler intuitives une fois définies, pourtant elles ont été établies suite à plusieurs essais infructueux. Inutile de préciser à quel point il a été gratifiant d'y parvenir.

Une fois JESS importé dans Unity3D, le tuteur peut y faire appel pour consulter l'expert au sujet des règles du domaine ou pour appliquer les règles pédagogiques de Prat'Sécuritaires. Quelques exemples d'utilisation de JESS dans Prat'Sécuritaires sont présentés à l'appendice D de ce mémoire.

4.2 Architecture fonctionnelle

Afin de comprendre le fonctionnement de Prat'Sécuritaires, il est utile de donner une description détaillée de la manière dont les composantes internes du système interagissent. La figure 4.1 met en évidence l'implémentation des différents

6. <https://www.ikvm.net/>

modules de Prat'Sécuritaires ainsi que les interactions entre ces derniers.

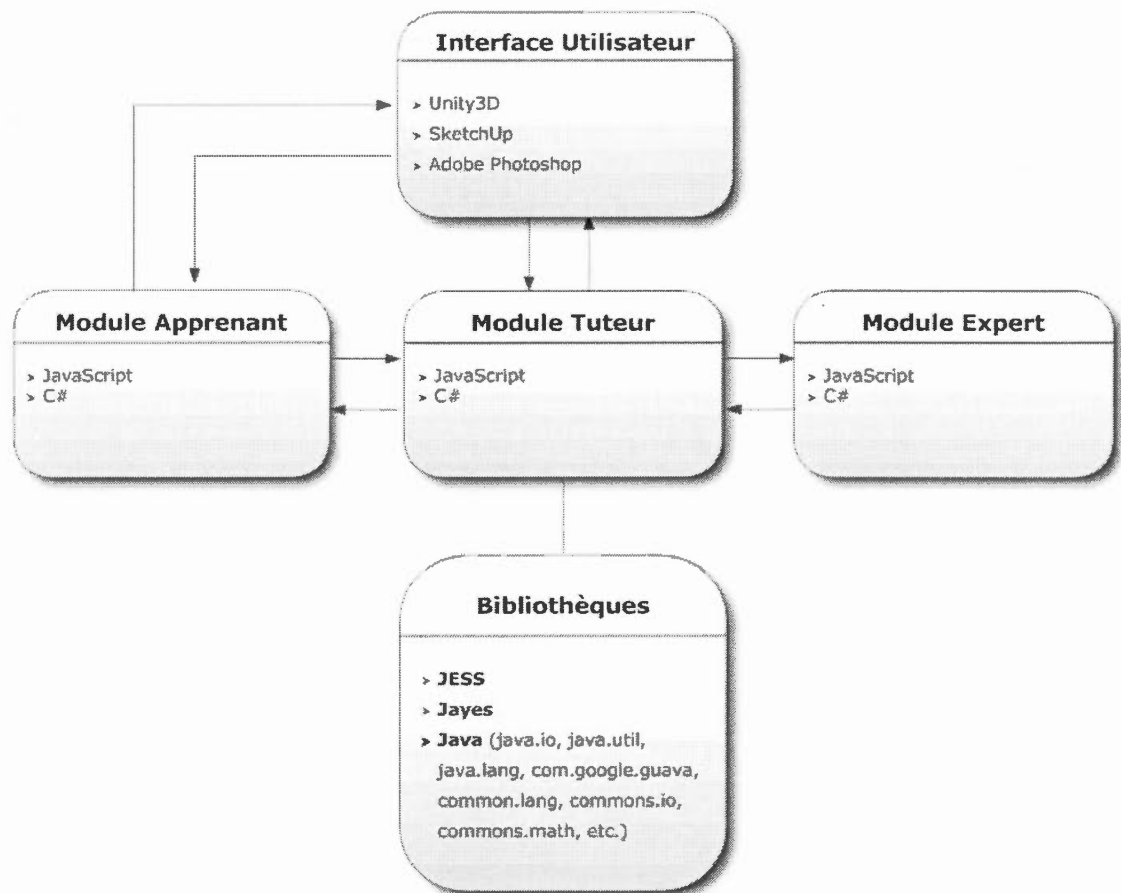


Figure 4.1: Architecture fonctionnelle de Prat'Sécuritaires.

Le module Tuteur est le module central du système. Il est celui qui interagit avec tous les autres modules. Nous y reviendrons plus en détail à la fin de cette section. L'interface utilisateur, qui est l'environnement de jeu vidéo en trois dimensions dans lequel l'apprenant évolue, est composée d'éléments de jeu interactifs et de capteurs dissimulés qui sont utilisés par le tuteur. L'apprenant, représenté par

son avatar dans le jeu, interagit avec son environnement grâce à des commandes clavier, des boutons de l'interface ou les différents capteurs avec lesquels il rentre en contact au cours d'une partie. Le tuteur réagit aux actions de l'apprenant (ex., l'apprenant appui sur le bouton d'aide ou se sert d'une commande clavier pour ouvrir une porte) ou lit les valeurs des capteurs dissimulés afin de faire un *feedback* dans le contexte du joueur (ex., lire le dernier capteur traversé par l'apprenant afin de l'orienter vers la sortie la plus proche). Le tuteur interroge également l'expert afin d'identifier les éléments de jeu (ex., l'emplacement des sorties proches ou des extincteurs) ou déterminer les règles du domaine (ex., les pratiques sécuritaires en cas d'incendie) afin d'appliquer les règles tutorielles qu'il implémente. Le tuteur, afin de remplir efficacement le rôle pour lequel il a été conçu, utilise la bibliothèque JESS pour interroger l'expert et pour implémenter les règles tutorielles (ex., quel *feedback* donner à l'apprenant s'il ferme la porte derrière lui en quittant la salle dans laquelle il se trouve en début de partie). Les bibliothèques Jayes et Java sont utilisées par le tuteur pour créer, mettre à jour et interroger le réseau bayésien modélisant les connaissances de l'apprenant dans le système. Un exemple d'utilisation de ces bibliothèques dans le code source de Prat'Sécuritaires est donné en Appendice E.

Après la description de l'architecture fonctionnelle de Prat'Sécuritaires, nous allons présenter les algorithmes disponibles pour la mise à jour du réseau bayésien utilisé dans le système avant de présenter les perspectives qu'a le joueur vis-à-vis de l'environnement et du tuteur dans le jeu.

4.3 Algorithmes et interactions

Dans cette section nous présentons l'algorithme utilisé pour manipuler le réseau bayésien dans Prat'Sécuritaires, et par la suite les interactions du jeu, en

nous attardant sur les raisons du choix de la perspective tierce-personne pour le joueur.

4.3.1 Algorithme de gestion du réseau bayésien

Nous avons utilisé l'outil JavaBayes pour créer le réseau bayésien utilisé dans Prat'Sécuritaires. JavaBayes offre une interface graphique permettant de créer, configurer, mettre à jour et consulter les distributions de probabilités d'un réseau bayésien. Cet outil utilise la bibliothèque Jayes (Kutschke, 2016), qui offre deux algorithmes d'inférence : Elimination de variables et Arbre de jonction. Il a donc fallu, après avoir importé les bibliothèques Java et Jayes dans Unity3D, écrire le code source permettant de mettre à jour les variables observables du réseau bayésien et récupérer ensuite les valeurs des inférences faites sur les nœuds internes du réseau (variables sur lesquelles se fait la distribution de probabilités). Le réseau bayésien de Prat'Sécuritaires est consultable en Appendice C.

4.3.2 Interaction Apprenant-Environnement : Perspective Tierce Personne

Dans le prototype de Prat'Sécuritaires, la perspective que nous avons implémenté pour le joueur est la perspective tierce-personne (*Third-Person Perspective*). Les raisons pour lesquelles nous avons choisi cette perspective sont qu'elle donne au joueur une meilleure perspective de l'environnement dans lequel il évolue en lui permettant d'en appréhender toute la complexité (Taylor, 2002). De même, la perspective tierce-personne est pratique pour se déplacer dans le jeu et pour évaluer les distances dans son environnement, et des études ont également prouvé que la perspective tierce-personne renforce l'immersion du joueur parce qu'elle lui permet de se représenter dans le jeu et de définir un rapport aux éléments qui

l'entourent (Salamin *et al.*, 2006). La figure 4.2 présente la perspective tierce-personne dans Prat'Sécuritaires. Il est en général préférable de donner l'option au joueur de basculer de la perspective tierce-personne à la perspective première-personne (*First-Person Perspective*) et vice-versa, seulement nous aurons besoin de procéder à des tests approfondis avec des utilisateurs pour déterminer laquelle des deux perspectives permet à l'apprenant d'obtenir de bien meilleurs résultats dans Prat'Sécuritaires, afin de décider si nous allons offrir les deux options ou non.

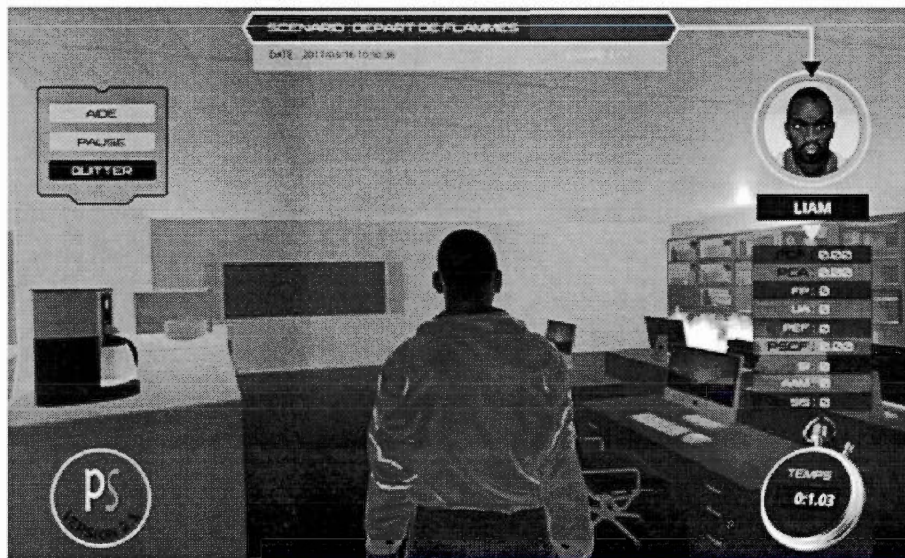


Figure 4.2: La perspective tierce-personne dans Prat'Sécuritaires.

4.3.3 Interactions Apprenant-Tuteur

Le tuteur implémenté dans Prat'Sécuritaires a été conçu pour être le plus discret possible afin d'encourager l'initiative chez l'apprenant, mais dans un cadre bien défini car il s'agit d'apprentissage des pratiques sécuritaires en situations d'urgence qui requièrent l'application systématique des procédures. Le tuteur note

toutes les actions de l'apprenant et observe son comportement. Il l'encourage pour certaines bonnes actions, et parfois l'interpelle pour une action importante oubliée. Il note également toutes ses erreurs et utilise un diagnostic pour identifier les lacunes de l'apprenant afin de lui faire des suggestions (suspendre temporairement la partie pour aller faire un training, retourner au niveau de jeu qui permettra de combler la lacune observée, etc.). Le tuteur prend également note de la durée de la partie et de ses interventions lorsque le joueur a sollicité de l'aide. A la fin de la partie le tuteur peut donner un *feedback* à l'apprenant s'il le juge nécessaire ou simplement lui afficher son tableau de score. Les figures 4.3 et 4.4 présentent deux exemples d'interactions tuteur-apprenant dans Prat'Sécuritaires.

Lorsque l'apprenant sollicite l'aide du tuteur en tout début de partie (4.3), ce dernier lui affiche la carte de l'environnement sur laquelle sont indiqués son emplacement ainsi que les sorties de secours, les extincteurs et les station manuelles pour déclencher l'alarme.

A tout autre endroit de l'environnement différent du point de départ (4.4), lorsque l'apprenant sollicite l'aide du tuteur pour trouver une sortie proche, ce dernier avant de fournir l'indice vérifie le dernier capteur activé par l'avatar du joueur. Ensuite le tuteur interroge l'expert pour déterminer la sortie la plus proche dudit capteur.

4.4 Résultats d'implémentation

4.4.1 Le Tuteur : Approche de *Coaching*

Tel que nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, la stratégie pédagogique mise en œuvre par le tuteur dans Prat'Sécuritaires est le *coaching* (entraînement). Le tuteur intervient dans la partie lorsque son aide est sollicitée

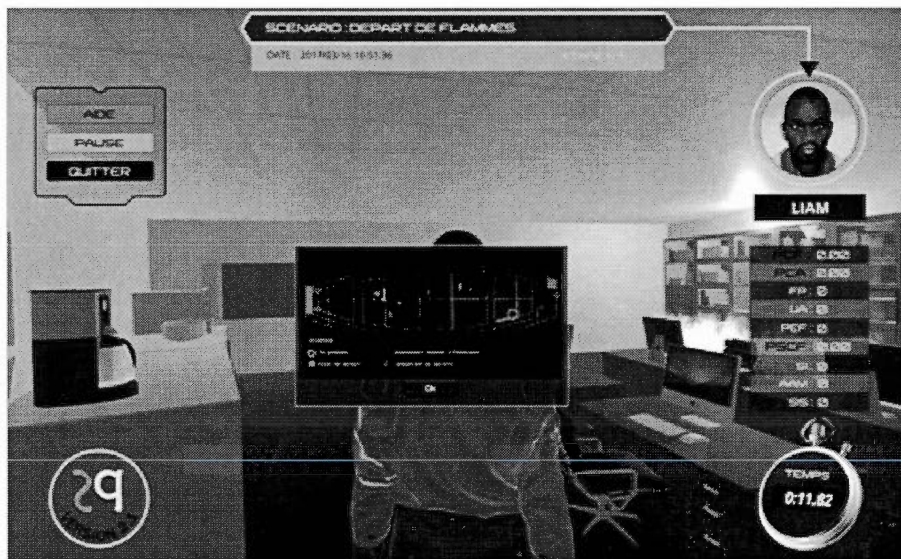


Figure 4.3: Le joueur sollicite l'aide du tuteur en début de partie.

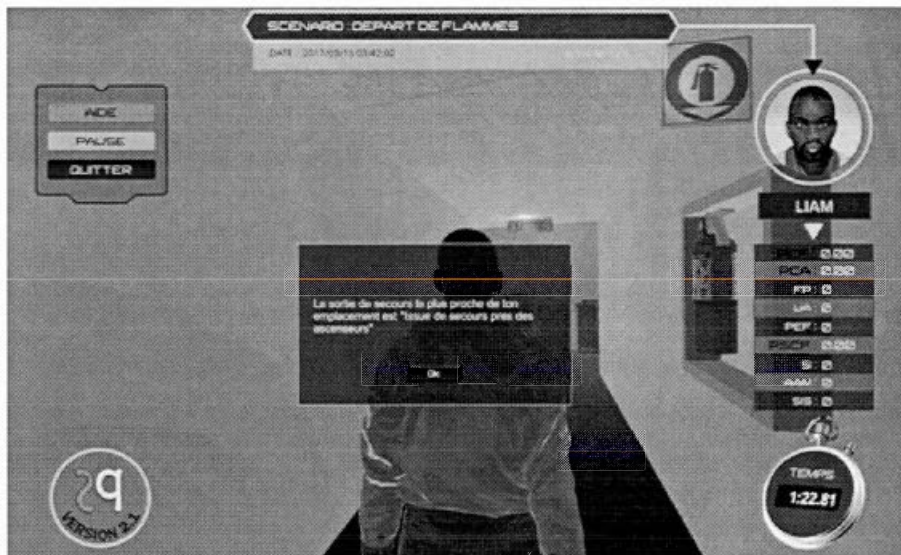


Figure 4.4: Le joueur sollicite un indice de la part du tuteur.

par le joueur ou lorsqu'il juge nécessaire, et de manière contextuelle. Le tuteur suit les déplacements et le comportements de l'apprenant dans l'environnement du jeu et détermine s'il est opportun de l'interrompre au stade courant du jeu. Il interroge également l'expert pour chaque action effectuée par l'apprenant afin de comparer les choix de ce dernier avec ceux prévus par l'expert. Le tuteur se base sur ces comparaisons pour assister l'apprenant. Dans le cas présenté à la figure 4.5, le tuteur félicite l'apprenant suite a une bonne action dans le jeu.

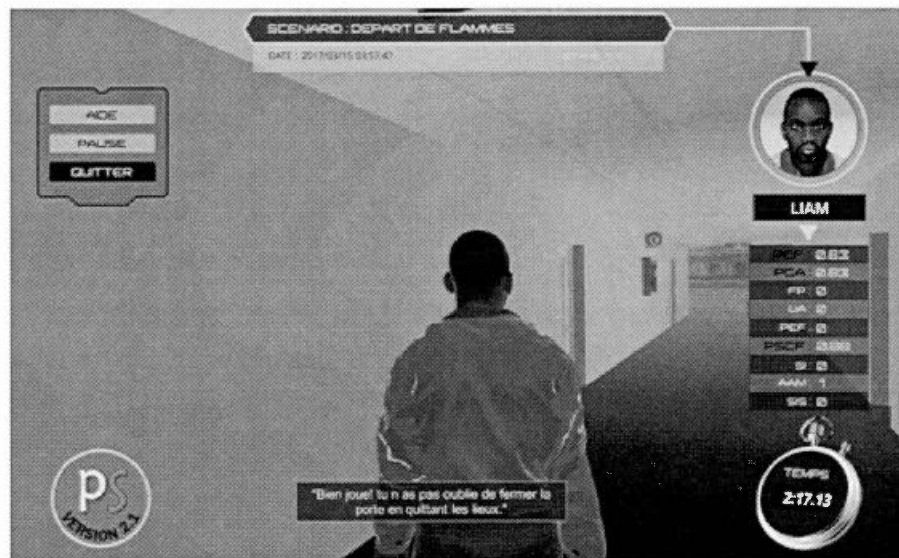


Figure 4.5: Le tuteur félicite le joueur pour une bonne action.

Dans le cas présenté à la figure 4.6, le comportement du joueur donne l'impression qu'il ne connaît pas bien son environnement. Le tuteur l'interpelle et lui fourni un indice pour l'aider à trouver une sortie proche.

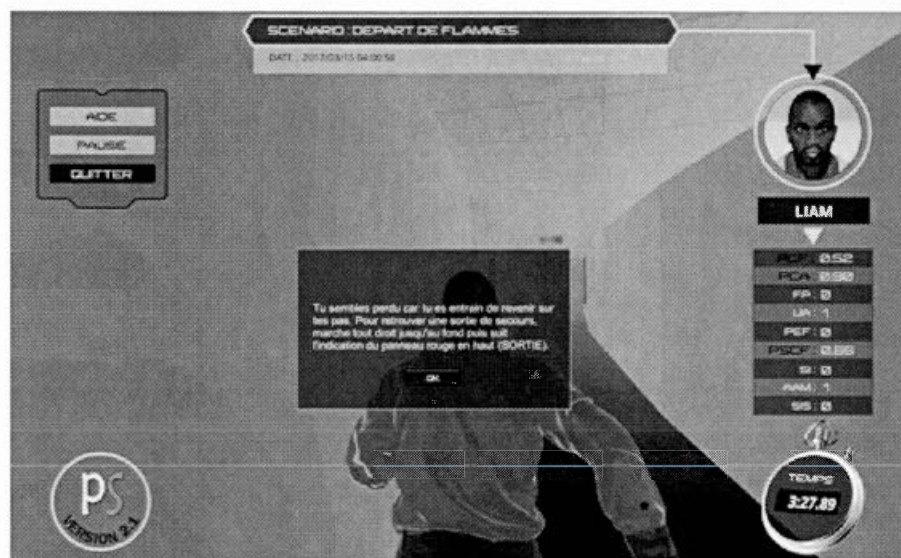


Figure 4.6: Le tuteur fait une remarque importante sur le comportement du joueur et lui fait une suggestion.

4.4.2 L'interface utilisateur

L'interface utilisateur dans Prat'Sécuritaires est l'environnement de jeu vidéo. Il est constitué de deux groupes d'éléments : l'environnement de jeu qui est une modélisation 3D fidèle de l'environnement réel sur lequel porte la formation, et l'écran de jeu qui offre des outils de contrôle (boutons pour démarrer ou quitter la partie, choisir une option de jeu, etc.). Dans le chapitre précédent, nous avons annoncé deux options de jeu : training et formation. Dans notre prototype nous avons développé uniquement le mode formation afin de nous focaliser sur l'expérience de jeu.

Les figures 4.7, 4.8 et 4.9 présentent quelques visuels de l'interface utilisateur de Prat'Sécuritaires :

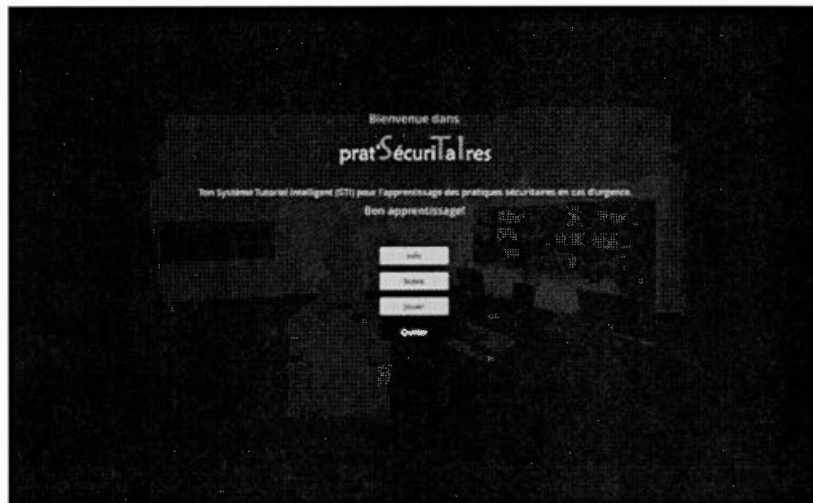


Figure 4.7: Un des écrans d'accueil de Prat'Sécuritaires.

Des options, au lancement de l'application, permettent au joueur d'avoir plus d'information sur le jeu, de consulter son score ou de commencer immédiatement la partie!

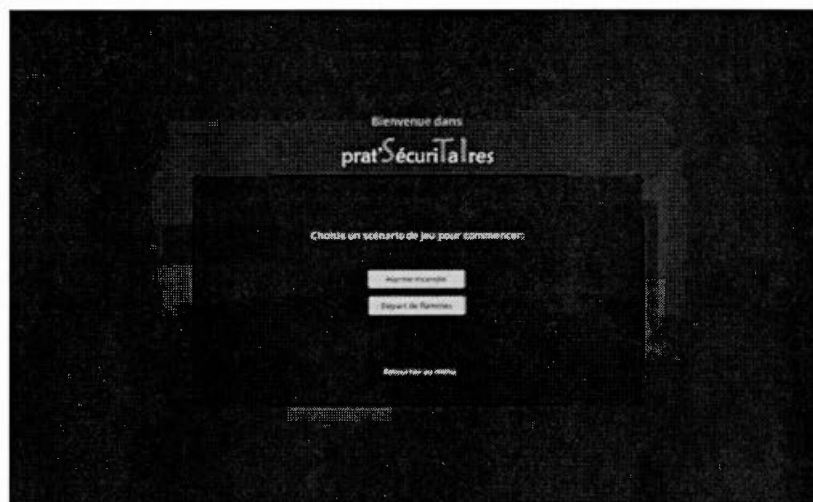


Figure 4.8: Choix d'une partie de jeu dans Prat'Sécuritaires.

Le joueur a le choix, dans le prototype de Prat'Sécuritaires, entre deux scénarios : Alarme incendie (la partie commence lorsque le joueur entend le son de l'alarme incendie), et Départ de flammes (la partie commence dans une salle à l'intérieur de laquelle un incendie s'est déclenché).

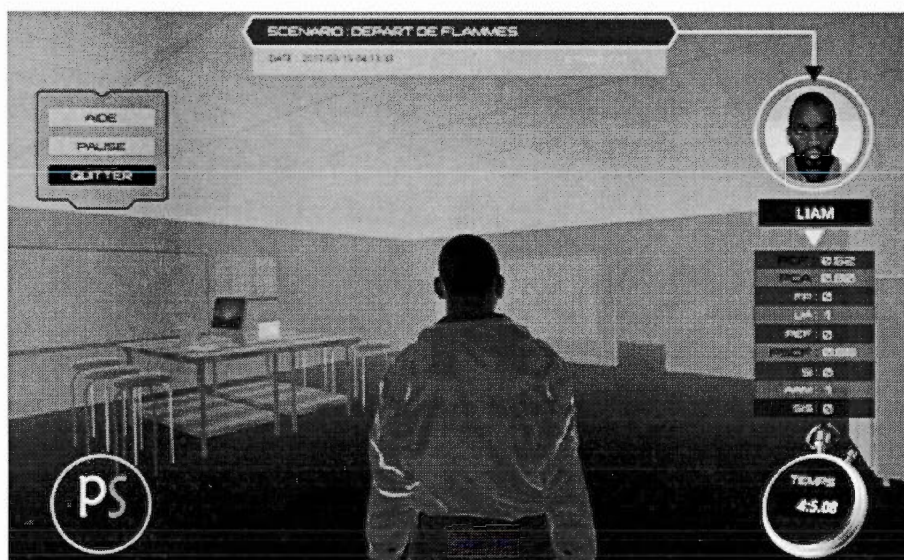


Figure 4.9: Eléments de contrôle de Prat'Sécuritaires.

Les boutons de contrôle dans le prototype de Prat'Sécuritaires sont basiques. Le joueur a l'option de solliciter l'aide du tuteur, de suspendre (mettre en pause) ou mettre fin à la partie.

Le tuteur prend en compte le fait que l'apprenant ait sollicité de l'aide, suspendu ou prématurément quitté la partie. Toutes ces données sont soigneusement consignées dans le modèle de l'apprenant, et seront utilisées par le tuteur, dans la partie en cours ou dans une parties à venir, pour suivre les progrès de l'apprenant.

Dans la version finale de Prat'Sécuritaires, le mode *Training* (formation) sera également disponible pour permettre à l'apprenant de s'exercer à quelques pratiques (ex., choix et utilisation d'un extincteur) avant de commencer une partie de jeu. Le joueur pourra s'exercer aux pratiques sécuritaires avant de commencer une partie de jeu. Les données de *training* seront prises en compte par le tuteur qui les consignera dans le modèle de l'apprenant. Le tuteur offrira également la possibilité d'interrompre une partie de jeu pour proposer des activités de *training* au joueur s'il estime que l'apprenant n'a pas le minimum de connaissances nécessaires pour compléter le niveau de jeu auquel il se trouve.

Lorsque le joueur quitte la partie, le tuteur met à jour son modèle en enregistrant ses données de jeu avant de lui proposer de l'aide ou afficher son score. Le tuteur pourra également afficher la place du joueur dans le classement s'il s'agit d'une session de formation impliquant multiples apprenant.

4.4.3 Hiérarchie modulaire

Nous avons adopté une hiérarchie modulaire empruntée au modèle MVC (Modèle, Vue, Contrôleur) pour la mise en œuvre de notre projet. Dans cette hiérarchie, le métier est séparé des objets et des données, ce qui a pour avantage le fait par exemple, que s'il advenait un jour que l'on veuille changer le comportement du tuteur, il ne serait pas nécessaire de modifier le code source de l'application. Il suffirait tout simplement de modifier le contenu des fichiers de définition des règles. De même, s'il faut apporter des changements à l'environnement ou introduire de nouvelles connaissances dans le système, il est très simple de mettre à jour l'application simplement en modifiant le fichier de règles de l'expert.

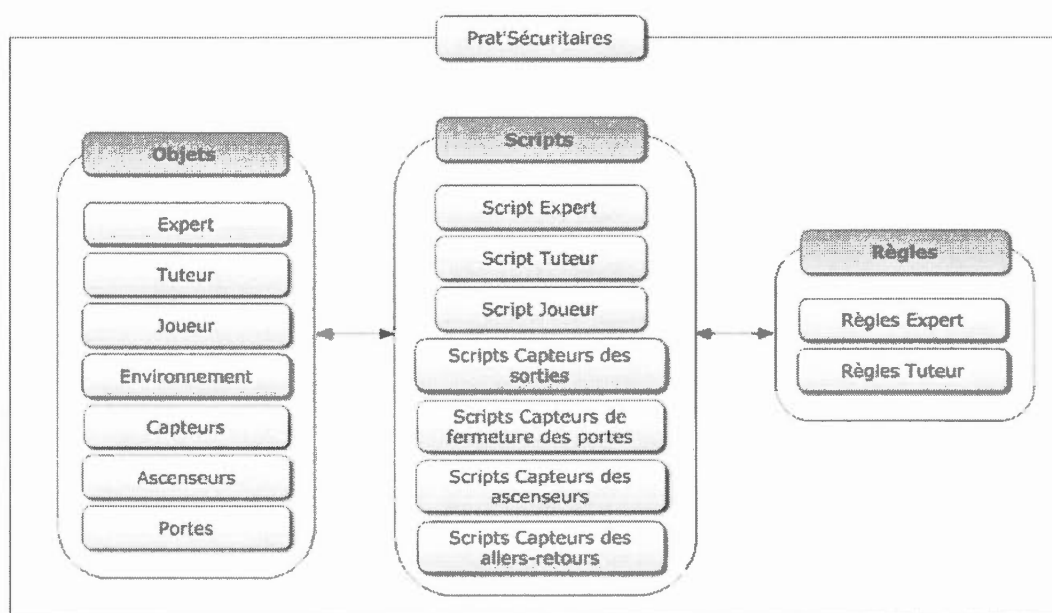


Figure 4.10: Organisation modulaire de Prat'Sécuritaires.

4.4.4 Interface générique

L'un des plus grands défis de Prat'Sécuritaires est la création de l'interface interactive qui permettra d'y intégrer les environnements de formation. Notre système doit fournir un outils qui permettrait en quelques clics de définir les éléments clés de l'environnement, tous les autres éléments avec lesquels le joueur pourra interagir dans le cadre de sa formation ainsi que les scénarios des différentes activités de formation. L'idée est de rendre le système adaptatif et simple d'utilisation dans le cadre d'une formation. Nous avons défini des contraintes à observer au moment de la modélisation des interfaces 3D à intégrer dans le jeu. Ces contraintes constituent le standard à observer dans le but de garantir la stabilité et l'efficacité du système. Sur la base de ce standard, les concepteurs des programmes de

formation auront simplement à utiliser l'outil fourni par Prat'Sécuritaires pour ajouter le modèle de l'environnement par rapport auquel la formation a été conçue (bâtiment public, domicile, bateau, avion, etc.), et ensuite définir les différents scénarios d'apprentissage. Notre objectif est de rendre le système facilement accessible car sa configuration et sa prise en main ne nécessiteront pas de compétences en programmation informatique. Etant donné que les pratiques sécuritaires en situation d'urgences obéissent aux mêmes normes indépendamment de l'environnement, d'une part, et d'autre part que les mesures consistent à procéder, soit à une évacuation, soit à un confinement selon la situation d'urgence, la difficulté se situe au niveau de la programmation informatique sous-jacente à l'implémentation de ces fonctionnalités.

4.4.5 Difficultés rencontrées

Le développement de Prat'Sécuritaires comporte de nombreux défis et nous avons été confrontés à de nombreuses difficultés de différents ordres au cours de la réalisation du prototype que nous présentons dans ce travail.

Sur le plan conceptuel

1. Nous avons rencontré des difficultés à définir les probabilités a priori et conditionnelles des nœuds du réseau bayésien de Prat'Sécuritaires. En effet, au mieux de nos connaissances, aucune étude empirique n'a été menée dans le domaine de l'apprentissage des pratiques sécuritaires, au moment où nous rédigeons ce mémoire, et les experts que nous avons consulté ne disposent d'aucune banque de résultats d'activités de formation que nous pourrions exploiter pour définir les probabilités sur la base desquelles le système fait des inférences pour adapter le processus d'apprentissage à l'apprenant ;
2. En deuxième point, nous avons conçu Prat'Sécuritaires pour être un système

générique permettant d'y intégrer de manière simple, différents environnements d'apprentissage. Pour le moment nous sommes confrontés à des défis de conception qui nécessitent une compréhension avancée du moteur de développement de jeux vidéo Unity3D afin de concevoir l'interfaçage au niveau de Prat'Sécuritaires. Nous poursuivons les travaux sur la question, et l'état d'avancement à ce niveau ne nous permet pas de publier les détails dans ce mémoire.

Sur le plan de l'implémentation

1. Nous avons fait face à un grand défi de programmation lorsqu'il a fallu intégrer le moteur de raisonnement JESS dans Unity3D afin de pouvoir accéder aux connaissances de l'expert et appliquer les stratégies pédagogiques du tuteur dans le jeu. Nous y sommes parvenus au bout de nombreux essais infructueux et disposons aujourd'hui d'une recette qui fonctionne ;
2. Nous avons rencontré le même type de difficulté pour l'intégration de la bibliothèque Jayes dans Unity3D afin de pouvoir invoquer les fonctions permettant de mettre à jour le réseau bayésien de Prat'Sécuritaires. Cette fonctionnalité est importante pour l'implémentation de l'aspect adaptatif du système. Nous y sommes finalement parvenu et la mise à jour du réseau bayésien fonctionne comme attendu !

Sur le plan méthodologique

1. L'absence de données empiriques sur le processus d'apprentissage des pratiques sécuritaires a été une source de casse-tête lorsque nous cherchions un moyen d'initialiser le modèle de l'apprenant. En effet nous estimons que le processus d'apprentissage pourrait être biaisé si nous considérons que tous les utilisateurs du système partent d'un niveau zéro de connaissance et de

compétence, ce qui ne reflète absolument pas les situations du monde réel que nous souhaitons modéliser. L'exploitation de données empiriques nous aurait permis d'extraire des *patterns* ou patrons de réponses des apprenants que nous aurions pu utiliser pour procéder à une évaluation préliminaire des joueurs afin de situer leur niveau de connaissance par rapport aux connaissances de l'expert de Prat'Sécuritaires ;

2. La deuxième difficulté à ce niveau est venue du fait qu'il n'existe pour l'heure aucune méthodologie d'évaluation des STIs de type jeu sérieux. Nous avons dû, pour les besoins de notre travail, procéder à l'évaluation en parallèle de chacun des aspect STI et jeux sérieux en utilisant les méthodologies applicables selon le cas. Aussi, l'un des nouveaux objectifs que nous nous sommes rajoutés par la suite est de fournir une approche d'évaluation globale des STIs de type jeu sérieux à la fin de ce projet.

Cette section met un terme au chapitre 4. Dans le chapitre 5 nous présentons une approche d'évaluation de Prat'Sécuritaires en utilisant les méthodes existantes dans le domaine des STIs et dans celui des jeux sérieux.

CHAPITRE V

VERS UNE ÉVALUATION DE PRAT'SÉCURITAIRES

Nous avons émis un certain nombre d'hypothèses de départ sur la valeur de notre STI de type jeu sérieux Prat'Sécuritaires et sur sa capacité à répondre aux problématiques annoncées au chapitre 0 de ce mémoire. Au stade présent de l'évolution du projet où nous avons un prototype fonctionnel que nous avons développé dans les règles de l'art des domaines des systèmes tutoriels intelligents et des jeux sérieux, il est important de faire une première évaluation du système qui permettra de juger de sa validité et de son efficacité à réaliser les objectifs annoncés. Il s'agit de vérifier d'une part, si les méthodologies d'ingénierie des connaissances et d'ingénierie logicielle utilisées ont permis de développer un système fiable, et d'autre part si Prat'Sécuritaires est capable de réaliser les résultats attendus. Pour ce qui concerne les aspects ou les éléments du système qui ne pourront pas être évalués, nous présenterons des directions pour nos travaux futurs.

Prat'Sécuritaires est un STI de type jeu sérieux, par conséquent son évaluation nécessite un protocole réunissant les méthodologies de validation des STIs et celles des jeux sérieux. Une telle méthodologie, au mieux de nos connaissances au moment de la rédaction du présent mémoire, n'existe pas encore. C'est pourquoi nous travaillons à définir un protocole d'évaluation des STIs de type jeu sérieux que nous allons proposer à la communauté scientifique une fois notre projet arrivé à

maturité.

Dans la première partie de ce chapitre nous décrivons des approches d'évaluation des STIs et des jeux sérieux relatives aux aspects ou aux éléments à évaluer dans Prat'Sécuritaires avant de procéder à une évaluation du système. Dans la deuxième partie, nous présentons des orientations pour les améliorations à apporter dans le futur.

5.1 Évaluation des systèmes tutoriels intelligents

Il existe plusieurs méthodologies d'évaluation des STIs, le choix de l'approche utilisée doit être guidé par les objectifs fixés et le protocole d'évaluation des objectifs définit au départ du projet (Woolf, 2010). L'évaluation d'un système peut être très coûteuse en terme de temps et de moyens, de plus complexe pour un STI car sa conception implique plusieurs disciplines (sciences de l'éducation, didactique, psychologie, sciences cognitives, informatique et ergonomie) (Tato et Adrienne, 2016).

Les méthodologies existantes correspondent à l'une ou à l'autre des deux types d'évaluations (Mark et Greer, 1993) :

1. *L'évaluation formative* à travers laquelle le système en cours de développement est observé par les chercheurs afin d'identifier les problèmes et aider à leur résolution. L'évaluation formative sert à collecter des informations qui serviront à améliorer le fonctionnement du STI. Elle commence assez tôt dans le processus de développement et se poursuit jusqu'à la fin du développement du système. Étant donné qu'elle vise essentiellement à améliorer le système et non prouver une hypothèse sur sa valeur, les résultats informels ou ad hoc sont en général acceptables.

2. *L'évaluation sommative* qui se fait une fois le développement achevé, pour appuyer les hypothèses sur la robustesse, la fiabilité et l'efficacité du système. L'évaluation sommative vise à prouver ou discréditer une hypothèse sur un système ou les techniques utilisées pour le développer, hypothèse qui porte en général sur la portée ou l'impact du STI. Aussi, une évaluation sommative se doit d'être plus rigoureuse en terme de respect de standards qu'une évaluation formative.

Ces méthodologies peuvent se limiter, pour certaines aux considérations internes tels que l'architecture ou le comportement du système, et pour d'autres aux considérations externes tel que l'impact éducationnel. Par ailleurs, les considérations internes peuvent impliquer des tests en laboratoire et les considération externes des tests avec les usagers finals du système dans l'environnement de déploiement.

5.2 Évaluation des jeux sérieux

Le domaine des jeux sérieux est en pleine croissance, et l'intérêt grandissant qu'ils suscitent entraîne le besoin de définir un cadre formel définissant les méthodes, les outils et les principes qui pourront être utilisés pour évaluer et valider les jeux sérieux (Mayer *et al.*, 2014). De nombreux travaux de recherche sont menés dans ce but, cependant il demeure encore des aspects peu ou mal couverts.

Les évaluations formative et sommative s'appliquent également aux jeux sérieux, avec des méthodologies se limitant pour certaines aux considérations internes et pour d'autres aux considérations externe. L'évaluation des jeux sérieux peut également être basée soit sur des tests effectués en laboratoire, soit impliquer des participants externes au projet, avec la différence qu'elle porte sur les attributs et les combinaisons d'attributs qui motivent le joueur à accepter d'utiliser un jeu

sérieux pour son apprentissage.

(Mayer *et al.*, 2014) propose un modèle conceptuel pour l'évaluation des jeux sérieux qui a été appliqué de manière comparative à douze jeux sérieux. L'objet de l'étude était de déterminer les exigences et les principes de conception d'une méthodologie scientifique sociale globale pour l'évaluation des jeux sérieux. La méthodologie résultant de cette étude a été conçue en huit étapes. Elle est basé sur une table définissant quoi mesurer, comment et quand dans la progression du jeux sérieux afin de diriger une évaluation. Cette table est consultable en Appendice F. Les critères à valider dépendent des objectifs du jeu fixés au départ du projet, mais aussi des besoins des concepteurs du jeu, des utilisateurs finals, des enseignants ou formateurs, etc.

Une approche de validation des jeux sérieux utilisant le *Technology Acceptance Model (TAM)* (modèle d'acceptation des technologies) a également été proposée par (Yusoff *et al.*, 2010). Le tableau résumant cette méthode est consultable en Appendice G de ce mémoire. Des participants ont joué à un jeu sérieux, et ont ensuite été invités à répondre à un questionnaire qui avait été développés pour mesurer les variables suivantes :

- Transfert des compétences acquises. L'apprenant est-il capable d'utiliser et appliquer les compétences acquises dans le monde réel ?
- Degré de contrôle du jeu. L'apprenant se sentait-il en total contrôle des activités dans le jeux ?
- Apprentissage contextualisé. L'apprenant pouvait-il associer l'apprentissage à des besoins et intérêts dans le monde réel ?
- Récompense. L'apprenant s'est-il senti encouragé à jouer ?
- Utilité. L'apprenant a-t-il le sentiment que le fait de jouer l'aiderait en situation réelle ?

- Facilité d'utilisation. L'apprenant a-t-il trouvé le jeu facile à utiliser ?
- Intension d'utiliser le jeu. L'apprenant a-t-il l'intention d'utiliser le jeu pour l'apprentissage pour améliorer ses facultés ?

Les constats suivants ont été tirées de l'analyse des réponses aux questionnaires :

- La récompense et le transfert de compétences présentent une intercorrélacion forte ;
- Le contrôle du jeu et l'apprentissage contextualisé présentent une intercorrélacion forte ;
- Un niveau élevé de transfert de compétences conduit à une haute perception de l'utilité ;
- Un niveau élevé de contrôle du jeu conduit à une haute perception de l'utilité ;
- Un niveau élevé d'apprentissage contextualisé conduit à une haute perception de facilité d'utilisation ;
- L'intention d'utiliser le jeu n'est pas liée de manière significative à la facilité d'utilisation ;
- La facilité d'utilisation est étroitement liée à l'utilité, qui à son tour est étroitement liée à l'intention d'utiliser le jeu ;

Ces constats ont conduit aux conclusions suivantes qui peuvent être utilisées pour prédire si l'apprenant a l'intention d'utiliser le jeu : considérer de manière conjointe les liens entre le transfert de compétences et l'utilité, l'apprentissage contextualisé et la facilité d'utilisation, le contrôle du jeu et l'utilité, la facilité d'utilisation et l'utilité, et l'utilité et l'intention d'utiliser le jeu, fourni des indica-

tions sur la manière de concevoir un jeu sérieux qui garantira l'intention du joueur de l'utiliser pour l'apprentissage.

5.3 Approche d'évaluation de Prat'Sécuritaires

Le prototype de Prat'Sécuritaires que nous avons développé est encore à une phase expérimentale, et de plus ne propose pas encore toutes les fonctionnalités annoncées. D'autre part des moyens et le temps limités pour la réalisation de cette première version ont été un obstacle à la planification d'une évaluation sommative du système. Il est par ailleurs possible de faire une évaluation formative selon des contraintes internes et externe, étant donné qu'elle est moins rigoureuse que l'évaluation sommative. Nous présentons donc dans la suite une évaluation de la version actuelle du système selon les objectifs fixés au chapitre 0 et guidée par l'approche proposée par (Mark et Greer, 1993) qui consiste à évaluer l'architecture et le comportement de chacune des composantes du STI. Nous utiliserons la même approche pour l'aspect jeu sérieux.

5.3.1 Évaluation du module expert

Le module expert ou module du domaine, encode les manipule les connaissances du domaine qui est dans le cas de Prat'Sécuritaires, celui des pratiques sécuritaires en situation d'urgence. A cause des contraintes liées au cadre du développement du prototype du système et qui sont énoncées plus haut, nous avons travaillé à l'encodage des règles propres à la situation d'incendie. Le rôle de l'expert dans Prat'Sécuritaires est de fournir les connaissances à transmettre à l'apprenant, et sur la base desquelles le tuteur évalue les actions de ce dernier. Il est donc primordial de s'assurer de la fiabilité de l'expert tout au long du développement de la base de connaissances.

Pour garantir la fiabilité des connaissances du domaine des pratiques sécuritaires en situation d'incendie encodés par l'expert, nous avons appliqué de manière systématique et rigoureuse une méthodologie d'acquisition des connaissances qui a été éprouvé et validée (Paquette *et al.*, 1991). De plus, à chaque itération du processus d'élicitation des connaissances de l'expert, le résultat a été soumis à l'évaluation des experts humains que nous avons sollicité, et dont la validation était un prérequis au passage à l'étape suivante. A partir du moment où nous sommes arrivés à une version stable du système, nous soumettons le prototype de Prat'Sécuritaires à l'évaluation des experts humains au cours des séances de démonstration qui suivent nos entrevues. Nous pouvons par conséquent conclure que l'expert du prototype de Prat'Sécuritaires reproduit bien les connaissances et le savoir faire des experts du domaine de la prévention et de la sécurité pour ce qui concerne les situations d'incendie.

5.3.2 Évaluation du modèle pédagogique

Le rôle du modèle pédagogique implémenté par le module tuteur, est de superviser l'apprentissage pour favoriser l'acquisition du savoir-faire de l'expert par l'apprenant. Son rôle est crucial dans le système et les méthode qu'il met en œuvre doivent être basées sur les stratégies d'apprentissage utilisées par les experts du domaine étudié. Le tuteur garantit l'application du principe fondamental des STIs, à savoir permettre un apprentissage personnalisé, adaptatif et de qualité.

Pour évaluer le tuteur de Prat'Sécuritaires nous l'avons comparé à nos experts humains. Les interventions du tuteur dans notre prototype sont limitées et sont uniquement basées sur l'observation des actions du joueur dans le jeu. Cette limitation qui est due au fait que l'évaluation du modèle cognitif de l'apprenant ne soit pas encore disponible, a un impact sur le caractère adaptatif du tuteur. Il

n'est par conséquent pas pertinent à ce stade de faire une évaluation du tuteur en se basant sur les méthodologies existantes de construction des stratégies d'interactions efficaces dans les environnements informatiques d'apprentissage (Narciss et Huth, 2004).

Le tuteur interroge régulièrement l'expert afin d'évaluer les actions de l'apprenant. Ses interventions auprès de l'apprenant se font essentiellement à travers des feedbacks qui sont des éléments reconnus comme ayant un impact important dans les tâches d'apprentissage interactives (Narciss, 2008). Dans notre prototype, le tuteur observe les actions de l'apprenant et est capable par exemple de déterminer s'il fait des allers-retours, s'il a oublié de fermer la porte derrière lui ou s'il essaye d'emprunter un ascenseur, et tout cela grâce à des capteurs installés dans le jeu, et non en appliquant une stratégie pédagogique. Il implémente tout de même une approche contextualisée lorsque l'apprenant sollicite de l'aide pour retrouver son chemin ou lorsque son comportement laisse croire qu'il est perdu dans son environnement. Dans ces cas le tuteur interroge l'expert pour trouver la sortie la plus proche du dernier capteur que le joueur a activé dans l'environnement du jeu. Le tuteur sauvegarde également toutes les données de jeu dans le réseau bayésien utilisé pour implémenter le modèle apprenant. Ce sont les inférences induites par ces données qui permettent de faire un diagnostic cognitif de l'apprenant.

Cette première évaluation nous permet de conclure que la bonne collaboration entre les modules tuteur et expert assure le comportement attendu de la part du tuteur dont les interventions dans le prototype de Prat'Sécuritaires se limitent au contexte du jeu.

5.3.3 Évaluation des composantes de communication

L'aspect communication concerne le système dans son ensemble. Il s'agit ici de faire une évaluation de la manière dont Prat'Sécuritaires présente les informations à l'apprenant et comment le système récupère les informations de l'apprenant (Mark et Greer, 1993). Un STI sera peu utile à l'apprenant s'il ne comprend pas les informations qui lui sont présentées, s'il interprète mal les directives de réponses ou s'il fait des erreurs à cause d'une interface mal conçue. Cette hypothèse reste vraie indépendamment de la qualité de la conception du STI et de l'ingénierie des connaissances sous-jacentes.

L'interface du prototype de Prat'Sécuritaires est très simplifiée. Elle présente les menus et les options de contrôle usuels dans les jeux vidéos (jouer, pause, aide, quitter, retour au menu, continuer, ok, etc.) auxquels la plupart des utilisateurs d'interface numériques sont habitués. Les feedbacks sont affichés de manière contextuelle et dans un langage simple et concis. L'évaluation formative exposée ici a été faite uniquement en laboratoire et avec les experts. Cependant le moyen le plus efficace pour identifier les problèmes suite à une évaluation formative de l'interface est de faire un test pilote avec les utilisateurs finals pour qui le système a été conçu (Mark et Greer, 1993).

Cette section met fin au chapitre 5. Le développement de Prat'Sécuritaires se poursuit et nous serons en mesure de fournir une évaluation complète et plus détaillée de notre système ainsi qu'une proposition de protocole d'évaluation des STI de type jeu sérieux, une fois que nous aurons terminé le développement du modèle enrichi de l'apprenant (comprenant toutes composantes décrites à la section 3.1.1) dans et mené à terme nos tests pilotes avec des utilisateurs finals du système.

CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons présenté le développement de Prat'Sécuritaires, un système tutoriel intelligent de type jeu sérieux pour l'apprentissage des pratiques sécuritaires en situations d'urgence. Nous avons par la suite effectué une approche d'évaluation du prototype réalisé afin de dégager le potentiel de notre outil.

Le prototype de Prat'Sécuritaires que nous avons développé combine les propriétés des systèmes tutoriels intelligents et des jeux sérieux. Il est constitué d'un modèle expert qui encode les connaissances du domaine de la prévention et de la sécurité, concernant les pratiques sécuritaires en situation d'incendie, et est capable de fournir des informations correctes sur l'environnement d'apprentissage ainsi que de décrire les actions à prendre lorsqu'on entend retentir une alarme incendie ou lorsqu'un incendie se déclenche. Son modèle tuteur implémente des règles pédagogiques définies avec les experts du domaine et est capable de suivre, de guider et d'évaluer l'apprenant tout au long de la partie de jeu à travers des rétroactions contextualisées et pertinentes. Le modèle apprenant, implémenté à l'aide d'un réseau bayésien, est capable en tout temps, de donner l'état des actions de l'apprenant dans le jeu. Il contient les observations faites des actions du joueur ainsi que les croyances du système sur son niveau de connaissance. L'interaction tuteur-apprenant est bien observable dans le prototype de Prat'Sécuritaires, même si celle-ci n'est pas très avancée. C'est un aspect purement programmatique qui sera assez facilement implémenté dans les prochaines versions. Enfin, le modèle d'interface est inspirée d'une nouvelle approche en pleine expansion

dans le domaine des STIs. En effet il s'agit d'un environnement de jeu vidéo qui modélise l'environnement réel sur lequel porte l'apprentissage. Nous avons créé l'interface de Prat'Sécuritaires grâce à des outils puissants de modélisation 3D et de développement de jeux vidéos.

Le prototype de Prat'Sécuritaires a été conçu en collaboration étroite avec les experts du domaine de la prévention et de la sécurité dont l'implication et l'engagement nous ont permis d'implémenter l'expert du système et les règles tutorielles appliquées dans le jeu. Nous avons rencontré des difficultés sur le plan conceptuel au moment du développement du modèle apprenant. Ces difficultés sont liées d'une part au fait qu'il n'existe pas de banque de données exploitable sur une évaluation des usager ayant suivi une formation sur les pratiques sécuritaires, et d'autre part à quelques défis technologiques qui sont essentiellement des défis de conception et de programmation. C'est pourquoi à la section 3.3.1 nous évoquons la construction d'une ontologie du domaine au terme du projet.

Nous avons également effectué une première évaluation formative de Prat'Sécuritaires qui nous a permis de ressortir le potentiel de notre outils et l'opportunité qu'il représente pour les domaines de la recherche scientifique et de la prévention et de la sécurité. Bien que notre prototype mette en œuvre uniquement la situation d'incendie, Prat'Sécuritaires a été conçu pour être un système générique pouvant intégrer tout environnement d'apprentissage modélisé en 3D et implémenter toutes les situations d'urgence. L'évaluation formative de notre système a été faite par rapport aux composantes fonctionnelles actuelles car il reste encore beaucoup à faire. Il faudra, une fois le projet arrivé à son terme, proposer des protocoles d'évaluations formative et sommative globale des STIs de type jeu sérieux, étant donné qu'il n'en existe pas au moment où nous effectuons l'évaluation préliminaire de notre système. Nous avons réalisé presque tous les objectifs que nous avons fixé à l'exception du diagnostic cognitif de l'apprenant.

Nos travaux futurs porteront en grande partie sur le développement des modules apprenant et tuteur afin de fournir les mécanismes permettant d'effectuer un diagnostic cognitif dans le but de personnaliser, de manière plus avancée, l'apprentissage. D'autres modèles seront ajoutés au module de l'apprenant et nous enrichirons la base d'activités. La stratégie pédagogique du tuteur sera améliorée afin de permettre le suivi de l'apprenant à un niveau de granularité plus bas. Nous travaillerons également avec les experts à l'enrichissement de la base de connaissances du modèle expert ainsi que sur les mécanismes de résolution de problèmes. Nous intégrerons la gestion multi-utilisateurs avec différents profils : apprenant ou formateur. Il est aussi prévu d'ajouter des fonctionnalités permettant l'apprentissage collaboratif. L'autre point important sur lequel nous allons nous investir est l'interface par laquelle on pourra intégrer des environnements de formation dans le système. Elle devra pouvoir se faire sans nécessiter des compétences en programmation. L'idée est de faciliter l'accès et la prise en main du système pour des programmes de formation.

Notre projet reçoit de très bons retours depuis le début de son développement, et nous avons la ferme intention de le porter le plus loin possible. Prat'Sécuritaires ouvre une voie non encore explorée dans le domaine des STIs de type jeu sérieux et nous aimerions poursuivre notre étude afin d'évaluer le réel potentiel de ce système et étudier les améliorations que nous pourrions y apporter.

APPENDICE A

CYCLE DE VIE D'UN *SPRINT* SCRUM

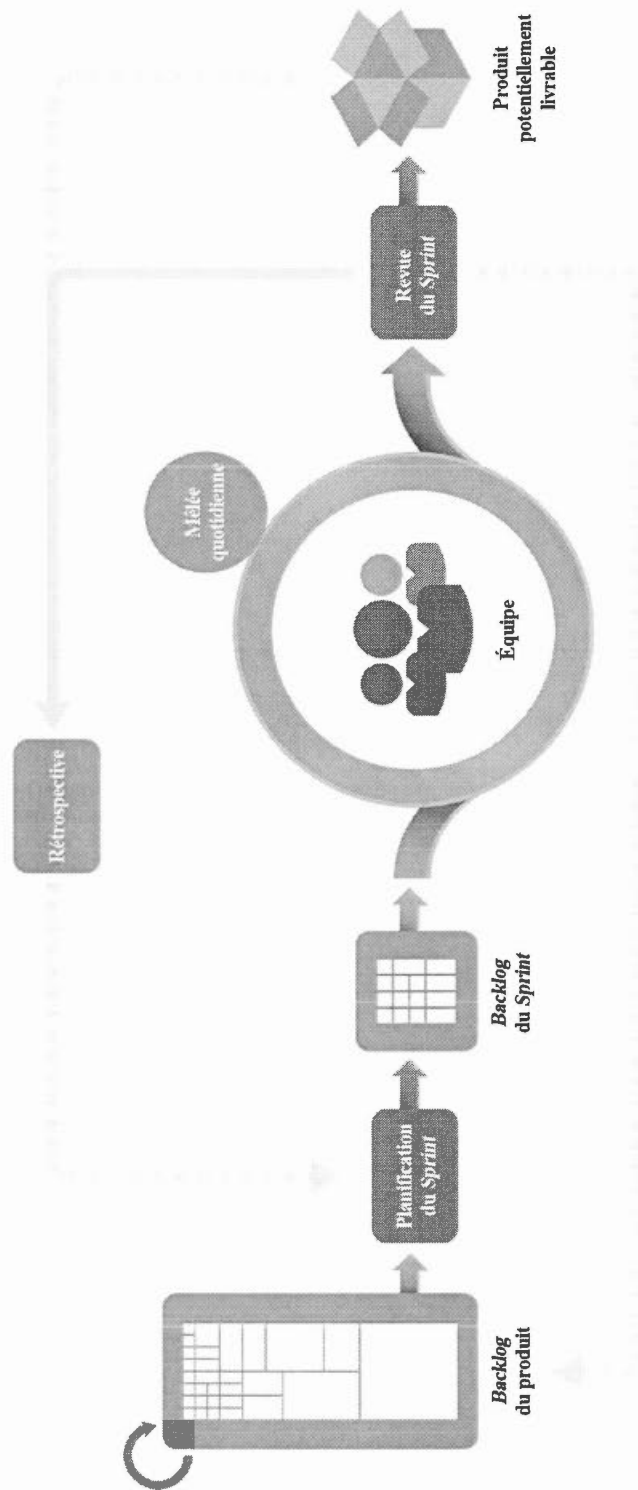


Figure A.1: Cycle de vie d'un *Sprint* SCRUM

APPENDICE B

MATRICE TECHNIQUE D'ÉLICITATION/DOMAINE PROBLÈME

	Information Requirements			Process Understanding			Behavior Understanding			Problem Frame Understanding	
	Displayed Information	Interface Design	Knowledge Specification	Difficulties, Constraints	Justification	Gap Specification	Mental Models	Operational Models	Goal State Understanding	Existing Support Environment	
Behavior Analysis (K,O)	●			●		●		●			
Protocol Analysis (K,O)			●	●	●			●			
Prototyping (K/R,O)	●	●	●	●		●					
Teachback Interview (K,UE)							●	●	●		
Open Interview (K/R,UE)	●			●			●	●	●	●	
Brainstorming Collective DM (R,UE)				●			●		●		
Goal-Oriented Approach (R,UE)							●		●		
Multidimensional Scaling (K,M)							●				
Cognitive Mapping (R,M)			●	●			●	●			
Variance Analysis (R,M)			●	●	●			●		●	
Machine Induction (K,FA)			●								
Text Analysis (K,FA)											
Repertory Grid (K/R,FA)			●				●				
Card Sort (K,SE)							●				
Scenario Technique (K/R,SE)				●			●		●		
Structured Interview (K/R,SE)	●		●	●	●	●			●	●	
Critical Success Factors (R,SE)	●		●						●		
Future Analysis (R,SE)				●					●		

Note: (O – Observation, UE – Unstructured Elicitation, M – Mapping, FA – Formal Analysis, SE – Structured Elicitation)

Figure B.1: Matrice Technique d'élicitation/Domaine problème

APPENDICE C

RÉSEAU BAYÉSIEN DE PRAT'SÉCURITAIRES

Tableau C.1: Table d'abréviations.

Abréviation	Description
ECI	Echapper en cas d'incendie.
ECA	Echapper en cas d'alarme.
ECF	Echapper en cas de flammes.
CSA	Cognition spatiale allocentrique.
CE	Connaitre son environnement.
PCA	Pratiques sécuritaires en cas d'alarme.
PCF	Pratiques sécuritaires en cas de flammes.
PSCF	Pratiques sécuritaires spécifiques au cas de flammes.
PSCA	Pratiques sécuritaires spécifiques au cas d'alarme.
AOS	Consulter l'aide à l'orientation spatiale.
TE	Temps écoulé.
TS	Trouver une sortie.
TSPP	Trouver la sortie la plus proche.
FP	Fermer la porte.
FAR	Faire des allers-retours.
UA	Essayer d'utiliser un ascenseur.
PEF	Prendre des effets personnels.
AAM	Déclencher l'alarme incendie.
SI	Signaler l'incident.
AAMS	Déclencher l'alarme incendie une fois en sécurité.
SIS	Signaler l'incident une fois en sécurité.

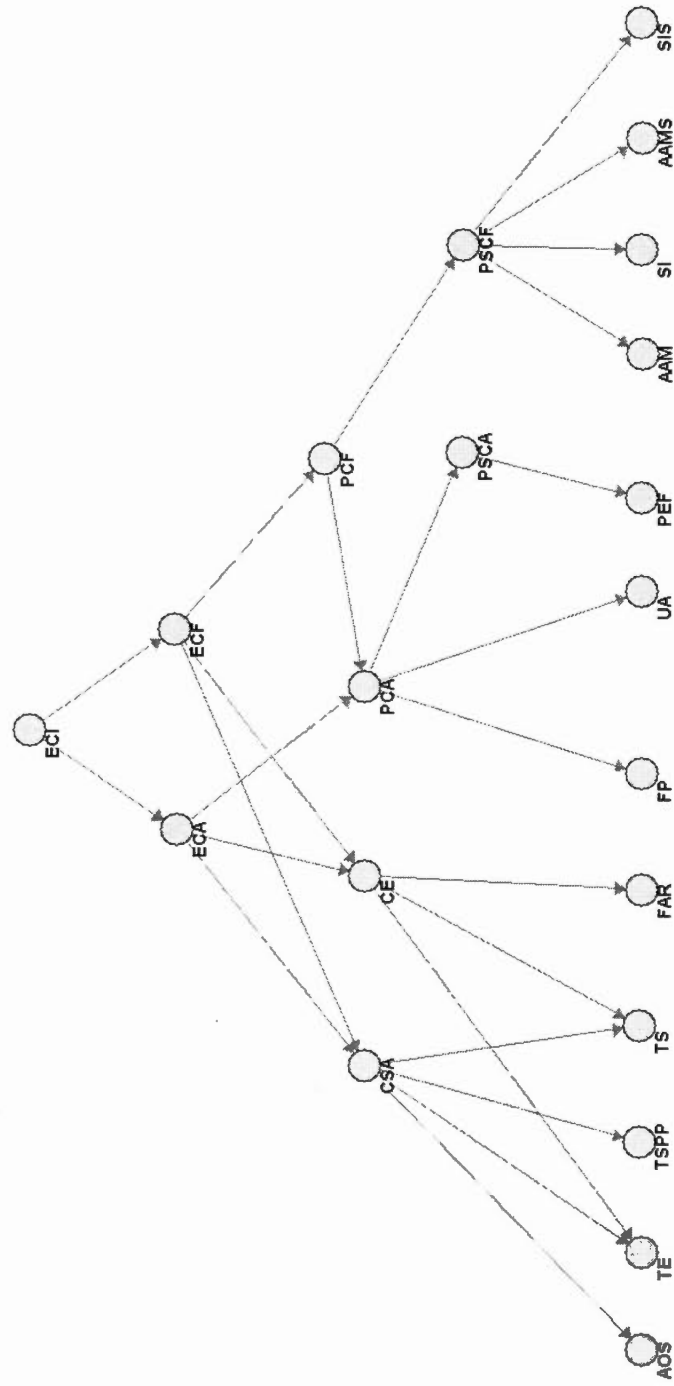


Figure C.1: Le réseau bayésien de Prat'Sécuritaires

Tableau C.2: Table de probabilités du réseau bayésien de Prat'Sécuritaires.

	Vrai	Faux
$P(ECI)$	0.5	0.5
$P(ECA ECI)$	0.9	0.1
$P(ECA ECI^C)$	0.5	0.5
$P(ECF ECI)$	0.9	0.1
$P(ECF ECI^C)$	0.5	0.5
$P(CSA ECA, ECF)$	0.5	0.5
$P(CSA ECA^C, ECF)$	0.5	0.5
$P(CSA ECA, ECF^C)$	0.5	0.5
$P(CSA ECA^C, ECF^C)$	0.5	0.5
$P(CE ECA, ECF)$	0.9	0.1
$P(CE ECA^C, ECF)$	0.8	0.2
$P(CE ECA, ECF^C)$	0.9	0.1
$P(CE ECA^C, ECF^C)$	0.4	0.6
$P(PCA ECA, PCF)$	0.9	0.1
$P(PCA ECA^C, PCF)$	0.8	0.2
$P(PCA ECA, PCF^C)$	0.9	0.1
$P(PCA ECA^C, PCF^C)$	0.4	0.6
$P(PCF ECF)$	0.5	0.5
$P(PCF ECF^C)$	0.5	0.5
$P(PSCA PCA)$	0.9	0.1
$P(PSCA PCA^C)$	0.4	0.6
$P(PSCF PCF)$	0.9	0.1

$\mathbf{P}(PSCF \mid PCF^C)$	0.4	0.6
$\mathbf{P}(AOS \mid CSA)$	0.1	0.9
$\mathbf{P}(AOS \mid CSA^C)$	0.9	0.1
$\mathbf{P}(TE \mid CE, CSA)$	0.5	0.5
$\mathbf{P}(TE \mid CE^C, CSA)$	0.5	0.5
$\mathbf{P}(TE \mid CE, CSA^C)$	0.5	0.5
$\mathbf{P}(TE \mid CE^C, CSA^C)$	0.5	0.5
$\mathbf{P}(TSPP \mid CSA)$	0.9	0.1
$\mathbf{P}(TSPP \mid CSA^C)$	0.6	0.4
$\mathbf{P}(TS \mid CE, CSA)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(TS \mid CE^C, CSA)$	0.6	0.4
$\mathbf{P}(TS \mid CE, CSA^C)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(TS \mid CE^C, CSA^C)$	0.6	0.4
$\mathbf{P}(FAR \mid CE)$	0.1	0.9
$\mathbf{P}(FAR \mid CE^C)$	0.6	0.4
$\mathbf{P}(FP \mid PCA)$	0.9	0.1
$\mathbf{P}(FP \mid PCA^C)$	0.4	0.6
$\mathbf{P}(UA \mid PCA)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(UA \mid PCA^C)$	0.4	0.6
$\mathbf{P}(PEF \mid PSCA)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(PEF \mid PSCA^C)$	0.6	0.4
$\mathbf{P}(AAM \mid PSCF)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(AAM \mid PSCF^C)$	0.2	0.8
$\mathbf{P}(SI \mid PSCF)$	0.9	0.1

$\mathbf{P}(SI \mid PSCF^C)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(AAMS \mid PSCF)$	0.9	0.1
$\mathbf{P}(AAMS \mid PSCF^C)$	0.8	0.2
$\mathbf{P}(SIS \mid PSCF)$	0.9	0.1
$\mathbf{P}(SIS \mid PSCF^C)$	0.8	0.2

APPENDICE D

EXEMPLES D'UTILISATION DE JESS DANS PRAT'SÉCURITAIRES

Listing D.1: Fonction de l'expert retournant la sortie la plus proche.

```
1      public string RoomClosestExit (string position){
2          try
3          {
4              jess.Rete engine = new jess.Rete();
5              engine.reset();
6              engine.batch(expert);
7              jess.Deftemplate rce = engine.findDeftemplate("room");
8              jess.Fact room = new jess.Fact(rce);
9              room.setSlotValue("name", new jess.Value(position, jess.↵
10                  .RU.STRING));
11              room.setSlotValue("stateDoor", new jess.Value("", jess.↵
12                  RU.STRING));
13              room.setSlotValue("closeExit", new jess.Value("", jess.↵
14                  RU.STRING));
15              engine.assertFact(room);
16              engine.run();
17              jess.Fact f = engine.findFactByFact(room);
18              Debug.Log(" sortie proche = "+ f.getSlotValue("↵
19                  closeExit"));
20              return (" "+f.getSlotValue("closeExit"));
21          }
22          catch (UnityException e) { Debug.Log("error RoomClosestExit" + ↵
23              e); return("");}
```

Listing D.2: Fonction du tuteur retournant la sortie la plus proche d'un capteur.


```

1      void CallTutorExit ( string nameClosestExit, string nameRoom, string ↵
        nameFireDoor, string nameDetector)
2      {   Debug.Log("nameClosestExit = " + nameClosestExit);
3          Debug.Log("nameRoom = " + nameRoom);
4          Debug.Log("nameFireDoor = " + nameFireDoor);
5          Debug.Log("nameDetector = " + nameDetector);
6          try
7          {   Rete engine = new Rete();
8              engine.reset();
9              engine.batch(name);
10             Deftemplate dfj = engine.findDeftemplate("room");
11             Fact room = new Fact(dfj);
12             room.setSlotValue("name", new Value(""+nameRoom, RU.↵
                STRING));
13             room.setSlotValue("stateDoor", new Value("", RU.STRING)↵
                );
14             room.setSlotValue("closeExit", new Value(""+↵
                nameClosestExit, RU.STRING));
15             engine.assertFact(room);
16             Deftemplate dfg = engine.findDeftemplate("detector");
17             Fact detector = new Fact(dfg);
18             detector.setSlotValue("name", new Value(""+nameDetector↵
                , RU.STRING));
19             detector.setSlotValue("closeExit", new Value("\"+↵
                nameFireDoor+"\\"", RU.STRING));
20             engine.assertFact(detector);
21             Deftemplate dfr = engine.findDeftemplate("response");
22             Fact response = new Fact(dfr);
23             response.setSlotValue("resp", new Value("", RU.STRING))↵
                ;
24             response.setSlotValue("skill", new Value(0, RU.INTEGER)↵
                );
25             engine.assertFact(response);
26             engine.run();
27             Fact fact = engine.findFactByFact(response);
28             skillEnvironment = Int32.Parse(""+(fact.getSlotValue("↵
                skill")));
29             message = ""+fact.getSlotValue("resp");
30             Debug.Log("message = " + message);
31         }
32         catch (UnityException e) { Debug.Log("Something does not look ↵
            right.." + e); }

```

33 }

Listing D.3: Exemple de règle du domaine.

```
1 (defrule alarmOn
2   "En cas d alarme"
3   ?a <- (fireAlarm (state ?s) )
4     (test (eq ?s "On"))
5   =>
6   (assert (action-to-take (name "alarmOn") (action1 "Cesser immédiatement l ←
      activite en cours") (action2 "Fermer la porte en quittant les lieux") (←
      action3 "Rejoindre la sortie la plus proche") (action4 "Attendre les ←
      consignes"))))
```

APPENDICE E

EXEMPLE D'UTILISATION DES BIBLIOTHÈQUES JAYES ET JAVA DANS PRAT'SÉCURITAIRES

Listing E.1: Mise à jour du réseau bayésien.

```
1      void UpdateNetwork ( string nodeName)
2      {   try
3          {
4              InputStream inputstream = new FileInputStream(f); //↵
4                  create a input stream needed to create an object ↵
4                  XMLBIFReader
5              XMLBIFReader xmlbifreader = new XMLBIFReader(↵
5                  inputstream); //create an object XMLBIFReader to ↵
5                  read the file containing the bayesian network
6              net = xmlbifreader.read(); //read the XMLBIF containing↵
6                  the bayesian network
7
8              BayesNode n = net.getNode(nodeName); //retrieve the ↵
8                  node to update
9
10             IBayesInferer inferer = new JunctionTreeAlgorithm(); //↵
10                 creation an object IBayesInferer needed to compute ↵
10                 inference
11             inferer.setNetwork(net); //link inference to bayesian ↵
11                 network
12
13             Map evidence = new HashMap(); //create an object Map to↵
13                 store the evidences
14
15             evidence.put(n, "true"); //set the observation value to↵
15                 "true" for the designated node
```

```

16         inferer.setEvidence(evidence); //compute the inference
17
18         BayesNode n1 = net.getNode("PCF");
19         double[] beliefsC1 = inferer.getBeliefs(n1); //get the ←
                values of inferences for the node n
20         PCFValue = beliefsC1[0]; //get belief for "true" value
21
22         BayesNode n2 = net.getNode("PCA");
23         double[] beliefsC2 = inferer.getBeliefs(n2); //get the ←
                values of inferences for the node n
24         PCAValue = beliefsC2[0]; //get belief for "true" value
25
26         BayesNode n3 = net.getNode("PSCF");
27         double[] beliefsC3 = inferer.getBeliefs(n3); //get the ←
                values of inferences for the node n
28         PSCFValue = beliefsC3[0]; //get belief for "true" value
29
30     }
31     catch (UnityException e) { Debug.Log("Something does not look ←
                right.." + e); }
32 }

```

APPENDICE F

QUELQUES CRITÈRES D'ÉVALUATION DES JEUX SÉRIEUX

Tableau F.1: Quoi mesurer, comment et quand (Mayer *et al.*, 2014).

How	What ?	Pregame	In-game	Postgame
Self-reported	Qual. Personality: player experiences, context, etc.	Interviews, focus group, logbook.	Logbook, interviews or small assignments as part of the game.	Interviews focus group, after-action review.
	Quant. Socio-demographic, opinions, motivations, attitudes, engagement, game-quality learning, power, influence, reputation, network centrality, learning satisfaction, etc.	Survey, quest., individual or expert panel	In-game questionnaires	Survey, quest., individual or expert panel
Tested	Qual. Behavior, skills, etc.	Eg, actor role-play, caseanalysis, assessment, mental models.	Game-based behavioral assessment.	Game-based behavioral assessment.
	Quant. Values, knowledge, attitudes, skills, personality, power.	Psychometric, socio-metric tests : eg, personality, leadership, team roles, IQ.	Game-based behavioral performance analysis.	Game-based behavioral performance analysis.
Observed	Qual. Behavioral performance of student, professionals, player and/or facilitator, others ; decisions, strategies, policies, emotions, conflicts, etc.	Participatory observation, ethnographic methods	Video, audio personal observation, ethnography, maps, figures, drawings, pictures, etc.	Participatory observation, ethnographic methods.
	Quant. Biophysical-psychological responses, like stress (heart freq., perspiration).	Part. observation, network analysis, Biophysical-psychological observation.	In-game tracking and logging, network analysis, data mining, biometric observation.	In-game log file analysis, network analysis.

APPENDICE G

ÉVALUATION DES ATTRIBUTS DES JEUX SÉRIEUX

Tableau G.1: Les attributs des jeux sérieux et leur association avec le *Technology Acceptance Model* (TAM) (Yusoff *et al.*, 2010).

Attributes for Serious Games	Values for Learning and Education	Association with TAM from the learner's viewpoint
Incremental learning	Learning material is delivered incrementally. Additional new knowledge is delivered and not done all at once. It will have a proper start and end section. Learner feels and learns in a natural way and less complex.	Incremental learning is seen as a normal way of learning. This attribute would not be a factor for the learner to use or reject this technology.
Linearity	Learning will be in sequence. This will suit the sequential learner. However, due to the games flexibility, active learner can skip chapters.	Linear also appears to be a natural flow of learning and there is no strong connection for urging the user to choose a serious game for learning.
Attention span	This concerns with the cognitive processing and short-term memory loads placed upon the learner by the game. These loads need to be carefully calibrated to the target learner Not to be overwhelmed and too long in the learning process.	There is probably a weak link between learner needs and playing the serious games.
Scaffolding	Support and help during learning within the games.	Learner may assume that every game always come with help, support tips or hints in the form of a game manual or online help.
Transfer of learnt skills	Learnt knowledge to apply to other skills in the next level.	Yes, learner would see this as a very useful thing because the knowledge acquired from games can be applied to different areas or other domains.
Interaction	Higher engagement, higher learning.	Learner may think interaction is common in learning since every basic learning transaction should have an interaction (two ways of communication).
Learner control	Active learning, self study and self exploration based on individual pace and experience.	Yes, learner may view this as useful because it gives a degree of freedom for the learner to learn at his own pace and likes the idea of all learning happening under his control.
Practice and drill	Repeating for harder task, better knowledge retention and can have plenty of game activities for drills.	Learner may think that this is common way of learning.
Intermittent feedback	Learner to reflect on what has been achieved so far and motivated for higher score (higher learning). Also using just in time feedback for learning.	Learner thinks that every learning always has feedbacks and this is normal.
Reward	Encourage learner and keep motivated. Negative reward as punishment within the game may also contribute to learning.	Yes, learner may feel this is important to keep him motivated and to keep on going. It would elevate his sense of confidence and self assurance in learning.
Situated and authentic learning	Learning where the learner can relate what is being learnt within the game to the outside world.	Yes, learner feels this is useful and can relate to what is being learnt would make the learning process to become easier.
Accommodating the learner's styles	To suit and to reach out to different learner styles.	This may be a strong factor for learner to use this technology but it is quite difficult to test. The result could be biased if the system happens not to be suited to his learning style but applicable to another group.

RÉFÉRENCES

- Aldrich, C. (2004). Simulations and the future of learning.
- Aldrich, C. (2005). Learning by doing. *San Francisco. CA. Pfeiffer*, 5.
- Alessi, S. M. et Trollip, S. R. (1991). *Computer-based instruction : Methods and development*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Alessi, S. M. et Trollip, S. R. (2001). Multimedia for learning. *Methods and development*, 3.
- Arnab, S., Petridis, P., Dunwell, I. et de Freitas, S. (2011). Enhancing learning in distributed virtual worlds through touch : a browser-based architecture for haptic interaction. In *Serious Games and Edutainment Applications* 149–167. Springer.
- Bateson, G. (1972). *Steps to an ecology of mind : Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology*. University of Chicago Press.
- Bosworth, K. (1995). Computer games and simulations as tools to reach and engage adolescents in health promotion activities. *Computers in Human Services*, 11(1-2), 109–119.
- Breuer, J. S. et Bente, G. (2010). Why so serious ? on the relation of serious games and learning. *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*, 4(1), 7–24.
- Brusilovsky, P. et Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. Dans *The adaptive web*, 3–53. Springer-Verlag.
- Byrd, T. A., Cossick, K. L. et Zmud, R. W. (1992). A synthesis of research on requirements analysis and knowledge acquisition techniques. *MIS quarterly*, 117–138.
- Caillois, R. et Barash, M. (1961). *Man, play, and games*. University of Illinois Press.
- Carr, B. et Goldstein, I. P. (1977). *Overlays : A theory of modelling for computer aided instruction*. Rapport technique, DTIC Document.

- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games : A change in the use of game characteristics. *Games and culture*.
- Cleary, A., McKendrick, H. et Sills, J. (2002). Hand-arm vibration syndrome may be associated with prolonged use of vibrating computer games. *BMJ : British Medical Journal*, 324(7332), 301.
- Conati, C. (2010). Bayesian student modeling. In *Advances in intelligent tutoring systems* 281–299. Springer.
- Conati, C., Gertner, A. S., VanLehn, K. et Druzdzel, M. J. (1997). On-line student modeling for coached problem solving using bayesian networks. Dans *User Modeling*, 231–242. Springer.
- Coram, M. et Bohner, S. (2005). The impact of agile methods on software project management. Dans *12th IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'05)*, 363–370. IEEE.
- Corbett, A. T., Koedinger, K. R. et Anderson, J. R. (1997). Intelligent tutoring systems. *Handbook of human-computer interaction*, 5, 849–874.
- Corti, K. (2006). Games-based learning ; a serious business application. *Informe de PixelLearning*, 34(6), 1–20.
- D Baker, R. S., Corbett, A. T. et Aleven, V. (2008). More accurate student modeling through contextual estimation of slip and guess probabilities in bayesian knowledge tracing. Dans *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 406–415. Springer.
- de Freitas, S. et Liarokapis, F. (2011). Serious games : a new paradigm for education ? In *Serious games and edutainment applications* 9–23. Springer.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. et Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness : defining gamification. Dans *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference : Envisioning future media environments*, 9–15. ACM.
- Djaouti, D., Alvarez, J. et Jessel, J.-P. (2011). Classifying serious games : the g/p/s model. *Handbook of research on improving learning and motivation through educational games : Multidisciplinary approaches*, 118–136.
- Dorman, S. M. (1997). Video and computer games : effect on children and implications for health education. *Journal of School Health*, 67(4), 133–138.
- Egenfeldt-Nielsen, S., Smith, J. et Tosca, S. (2006). Thoughts on learning in games and designing educational compu-

- ter games. <http://game-research.com/index.php/articles/thoughts-on-learning-ingames-and-designing-educational-computer-games>, Accédé le 1er Août 2016.
- Ellis, H., Heppell, S., Kirriemuir, J., Krotoski, A. et McFarlane, A. (2006). Unlimited learning : Computer and video games in the learning landscape. *London : Entertainment and Leisure Software Publishers Association*, 66.
- Emes, C. E. (1997). Is mr pac man eating our children ? a review of the effect of video games on children. *The Canadian Journal of Psychiatry*, 42(4), 409–414.
- Fabricatore, C. (2000). Learning and videogames : an unexploited synergy
- Fowler, M. et Highsmith, J. (2001). The agile manifesto. *Software Development*, 9(8), 28–35.
- Garris, R., Ahlers, R. et Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning : A research and practice model. *Simulation & gaming*, 33(4), 441–467.
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in Entertainment (CIE)*, 1(1), 20–20.
- Gigerenzer, G. et Goldstein, D. G. (1996). Reasoning the fast and frugal way : models of bounded rationality. *Psychological review*, 103(4), 650.
- Graesser, A. C., Conley, M. W. et Olney, A. (2012). Intelligent tutoring systems.
- Graesser, A. C., VanLehn, K., Rosé, C. P., Jordan, P. W. et Harter, D. (2001). Intelligent tutoring systems with conversational dialogue. *AI magazine*, 22(4), 39.
- Gredler, M. E. (2004). Games and simulations and their relationships to learning. *Handbook of research on educational communications and technology*, 2, 571–581.
- Groh, F. (2012). Gamification : State of the art definition and utilization. *Institute of Media Informatics Ulm University*, 39.
- Heckerman, D. (2008). A tutorial on learning with bayesian networks. In *Innovations in Bayesian networks* 33–82. Springer.
- Herz, B. et Merz, W. (1998). Experiential learning and the effectiveness of economic simulation games. *Simulation & Gaming*, 29(2), 238–250.
- Hodson, P., Connolly, M. et Saunders, D. (2001). Can computer-based learning support adult learners ? *Journal of Further and Higher Education*, 25(3), 325–335.

- Hua, J. (2008). Study on knowledge acquisition techniques. Dans *Intelligent Information Technology Application, 2008. IITA'08. Second International Symposium on*, volume 1, 181–185. IEEE.
- Kirriemuir, J. (2002). The relevance of video games and gaming consoles to the higher and further education learning experience. *Techwatch report TSW*, 2.
- Klawe, M. (1994). The educational potential of electronic games and the e-gems project. Dans *Proceedings of the ED-MEDIA 94 World Conference on Educational Multimedia and Hypermedia. Panel discussion 'Can electronic games make a positive contribution to the learning of mathematics and science in the intermediate classroom*.
- Kutschke, M. (2016). An introduction to bayesian networks with jayes. Accédé le 01-08-2016. Récupéré de <http://www.codetrails.com/blog/introduction-bayesian-networks-jayes>
- Le, N.-T. et Pinkwart, N. (2015). Bayesian networks for competence-based student modeling—in watanabe, t. and seta, k.(eds.)(2015). Dans *Proceedings of the 11th International Conference on Knowledge Management. ISBN*, 129–138.
- Ma, M., Oikonomou, A. et Jain, L. C. (2011). Innovations in serious games for future learning. In *Serious games and edutainment applications* 3–7. Springer.
- Malone, T. W. et Lepper, M. R. (1987). Making learning fun : A taxonomy of intrinsic motivations for learning. *Aptitude, learning, and instruction*, 3(1987), 223–253.
- Mark, M. A. et Greer, J. E. (1993). Evaluation methodologies for intelligent tutoring systems. *Journal of Interactive Learning Research*, 4(2), 129.
- Mayer, I., Bekebrede, G., Harteveld, C., Warmelink, H., Zhou, Q., Ruijven, T., Lo, J., Kortmann, R. et Wenzler, I. (2014). The research and evaluation of serious games : Toward a comprehensive methodology. *British Journal of Educational Technology*, 45(3), 502–527.
- Mehmood Khan, M. (2002). Implementing an intelligent tutoring system for adventure learning. *The Electronic Library*, 20(2), 134–142.
- Mitchell, A. et Savill-Smith, C. (2004). The use of computer and video games for learning : A review of the literature.
- Mitgutsch, K. (2011). Serious learning in serious games. In *Serious games and edutainment applications* 45–58. Springer.

- Narciss, S. (2008). Feedback strategies for interactive learning tasks. *Handbook of research on educational communications and technology*, 3, 125–144.
- Narciss, S. et Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multimedia learning. *Instructional design for multimedia learning*, 181–195.
- Nkambou, R. (2010). Introduction aux systèmes tutoriels intelligents : notes de cours et illustrations, inf7470.
- Nkambou, R., Mizoguchi, R. et Bourdeau, J. (2010). *Advances in intelligent tutoring systems*, volume 308. Springer Science & Business Media.
- Nwana, H. S. (1990). Intelligent tutoring systems : an overview. *Artificial Intelligence Review*, 4(4), 251–277.
- Pan, X. (2006). *Computational modeling of human and social behaviors for emergency egress analysis*. (Thèse de doctorat). Stanford University.
- Paquette, G. (1999). Les environnements d'apprentissage intelligents. *Montréal : Télé-Université*.
- Paquette, G., de Rimouski, C., du Québec. Télé-université, U. et Roy, L. (1991). *Systèmes à base de connaissances*. Laval, Quebec : Université du Québec, Télé-université,[19] 91.
- Peck, K. L. et Hannafin, M. J. (1988). *The design, development & evaluation of instructional software*. Macmillan Publishing Co., Inc., Indianapolis, IN.
- Portugal, J. (2006). Le rapprochement du jeu et de l'apprentissage. *Serious Games Summit Europe 2006*.
- Prensky, M. (2006). Learning in the digital age. *Educational Leadership*, 63(4), 8–13.
- Ricci, K. E. (1994). The use of computer-based videogames in knowledge acquisition and retention. *Journal of Interactive Instruction Development*, 7(1), 17–22.
- Ricci, S. et Vigeveno, F. (1999). The effect of video-game software in video-game epilepsy. *Epilepsia*, 40(s4), 31–37.
- Richards, D. (2002). Knowledge in action : Blurring the distinction between tacit and explicit knowledge. *Journal of decision systems*, 11(2), 149–164.
- Russell, S. et Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence : A Modern Approach* (3 éd.). Prentice Hall.

- Salamin, P., Thalmann, D. et Vexo, F. (2006). The benefits of third-person perspective in virtual and augmented reality? Dans *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, 27–30. ACM.
- Sawyer, B. et Smith, P. (2008). Serious games taxonomy. Dans *Slides from the Serious Games Summit at the Game Developers Conference*.
- Schwaber, K. (1997). Scrum development process. In *Business Object Design and Implementation* 117–134. Springer.
- Schwaber, K. et Sutherland, J. (2011). The scrum guide. *Scrum Alliance*.
- Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of educational research*, 78(1), 153–189.
- Shute, V. J. (2011). Stealth assessment in computer-based games to support learning. *Computer games and instruction*, 55(2), 503–524.
- Squire, K. et Jenkins, H. (2003). Harnessing the power of games in education. *Insight*, 3(1), 5–33.
- Suits, B. (2005). The grasshopper : Games. *Life and Utopia : Toronto : University of Toronto Press*.
- Susi, T., Johannesson, M. et Backlund, P. (2007). Serious games : An overview.
- Tato, N. et Adrienne, A. (2016). Développement d'un système tutoriel intelligent pour l'apprentissage du raisonnement logique.
- Taylor, L. N. (2002). *Video games : Perspective, point-of-view, and immersion*. (Thèse de doctorat). University of Florida.
- Tazawa, Y. et Okada, K. (2001). Physical signs associated with excessive television-game playing and sleep deprivation. *Pediatrics International*, 43(6), 647–650.
- Tazawa, Y., Soukalo, A. V., Okada, K. et Takada, G. (1997). Excessive playing of home computer games by children presenting unexplained symptoms. *The Journal of pediatrics*, 130(6), 1010–1011.
- Theguardian.com (2016). France's saip emergency smartphone app failed during nice attack. Accédé le 28-08-2016. Récupéré de <https://www.theguardian.com/world/2016/jul/16/nice-terrorist-attack-france-saip-emergency-smartphone-app-failed>
- Thorpe, A., Ma, M. et Oikonomou, A. (2011). Alternative input methods for video games. Dans *Proceedings of the 16th IEEE Conference on Computer*

- Games : AI, Animation, Mobile, Interactive Multimedia, Educational and Serious Games (CGames 2011)*, Galt House Hotel, Louisville, KY, 27–30.
- Trollip, S. R. et Alessi, S. M. (2001). Multimedia for learning : methods and development. *Massachusetts : Allyn & Bacon*.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460.
- VanDeventer, S. S. et White, J. A. (2002). Expert behavior in children’s video game play. *Simulation & Gaming*, 33(1), 28–48.
- VanLehn, K. (1996). Conceptual and meta learning during coached problem solving. Dans *International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 29–47. Springer.
- Westera, W., Nadolski, R., Hummel, H. G. et Wopereis, I. G. (2008). Serious games for higher education : a framework for reducing design complexity. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(5), 420–432.
- Woolf, B. P. (2010). *Building intelligent interactive tutors : Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann.
- Yusoff, A., Crowder, R. et Gilbert, L. (2010). Validation of serious games attributes using the technology acceptance model. Dans *Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES), 2010 Second International Conference on*, 45–51. IEEE.
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*, 38(9), 25–32.